أليس في بلاد الكَم

حكايةٌ خيالية في عالَم فيزياء الكَم

روبرت جيلمور



أليس في بلاد الكَم

حكايةٌ خيالية في عالَم فيزياء الكَم

تأليف
روبرت جيلمور

ترجمة
أحمد سمير سعد

مراجعة
زينب عاطف



أليس في بلاد الكَم

روبرت جيلمور

Alice in Quantumland

Robert Gilmore

الناشر مؤسسة هنداوي
المشهرة برقم ١٠٥٨٥٩٧٠ بتاريخ ٢٦ / ١ / ٢٠١٧

٣ هاي ستريت، وندسور، SL4 1LD، المملكة المتحدة
تليفون: ‎+ ٤٤ (٠) ١٧٥٣ ٨٣٢٥٢٢
البريد الإلكتروني: hindawi@hindawi.org
الموقع الإلكتروني: https://www.hindawi.org

تصميم الغلاف: ليلى يسري.

الترقيم الدولي: ٩٧٨ ١ ٥٢٧٣ ٢٠٤٢ ٠

صدر الكتاب الأصلي باللغة الإنجليزية عام ١٩٩٤
صدرت هذه الترجمة عن مؤسسة هنداوي عام ٢٠٢٠

المحتويات











تمهيد

في النصف الأول من القرن العشرين انقلبَ فهمنا للكون رأسًا على عقب؛ فاستُبدلت بنظريات الفيزياء الكلاسيكية العتيقة طريقةٌ جديدة للنظر إلى العالم، فظهرت ميكانيكا الكَم. وهي تتعارَض في نواحٍ عدةٍ مع أفكار ميكانيكا نيوتن الأقدم، وفي الحقيقة، تتعارَض أيضًا في كثيرٍ من النواحي مع المنطق السليم. ومع ذلك، فإن أغرب شيءٍ في هذه النظريات هو نجاحها الفائق في التنبؤ بالسلوك الملاحَظ للأنظمة الفيزيائية. فمهما بدتْ لنا ميكانيكا الكَم منافيةً للمنطق أحيانًا، فيبدو أن هذا هو مقصد الطبيعة منها، ولهذا علينا أن نجاريها في هذا.

يقدِّم هذا الكتاب حكايةً خياليةً رمزيةً في عالم فيزياء الكَم، بمعنى أنه سردٌ قصصيٌّ يصف موضوعًا معينًا في هيئة موضوع آخر. فتبدو الطريقة التي تتصرَّف بها الأشياء في ميكانيكا الكَم غريبةً للغاية على أسلوب تفكيرنا المعتاد في الأشياء، ويُمكن جعلها أكثر قبولًا عند مقارنتها بمواقف نألفها، حتى وإن كانت هذه المقارنات غير دقيقة. ولا يُمكن أبدًا أن تكون مثل تلك المقارنات صحيحة وواقعية؛ لأن العمليات الكَميَّة في الواقع مختلفة تمامًا عن خبراتنا الطبيعية.

إنَّ الحكاية الخيالية الرمزية هي عبارة عن مقارنة موسَّعة، أو سلسلة من المقارنات. وهكذا فإن هذا الكتاب يسير على نهج كتاب «رحلة الحاج» و«رحلات جاليفر» أكثر من كتاب «أليس في بلاد العجائب». ومع ذلك فإن أليس تبدو النموذج الأنسب عند استكشاف العالَم الذي نعيش فيه.

إنَّ بلاد الكَم التي تسافر إليها أليس تُشبه إلى حدٍّ ما حديقةً ترفيهية تكون فيها أليس أحيانًا مراقِبة، بينما تتصرَّف أحيانًا كنوع من الجسيمات ذات شحنات كهربية مُتفاوتة. تَعرض بلاد الكَم هذه السمات الأساسية لعالم الكَم؛ العالم الذي نعيش فيه جميعًا.

معظم أحداث القصة أحداث خيالية تامَّة والشخصيات تخيُّلية، على الرغم من أن حواشي «العالَم الواقعي» المفصَّلة أدناه حقيقية. وستجد على مدار السرد جملًا كثيرة منافية للمنطق بوضوحٍ وتَتنافى مع التفكير السليم تمامًا. الغالبية العظمى من هذه الجمل حقيقية. ويُقال إن نيلز بَور أبا ميكانيكا الكَم الذي أسهم بشكل بارز في بداياتها قد أوضحَ أن أي شخص لم يشعر بالدوار وتشوُّش الذهن عند التفكير في نظرية الكَم لم يفهمها بعد.

حكايةٌ ذات مغزًى جاد

إن وصف العالم الذي تُقدِّمه ميكانيكا الكَم هو بلا شك مثير ومميز، لكن هل من المتوقَّع منا تصديق صحَّته؟ من الغريب أننا وجدنا أنه يتوجَّب علينا تصديق هذا. وحتى نُبرز هذه الحقيقة ستجد على مدار الكتاب ملاحظاتٍ مختصرةً تؤكِّد على أهمية ميكانيكا الكَم في العالم الواقعي، وتبدو هذه الملاحظات على النحو التالي:

> تُلخِّص الملاحظات الصلة الوثيقة بين مواضيع الكم التي تُقابلها أليس في كل فصل وبين عالَمنا. من المفترض بهذه الملاحظات أن تكون غير ملحوظة بحيث يُمكنُك تجاهلها بينما تقرأ قصة مغامرات أليس، لكن حين ترغب في استكشاف الدلالة الواقعية لهذه المغامرات تجد الملاحظات بالقرب منك.

توجد أيضًا بعض الملاحظات الأطول قليلًا في نهاية كل فصل. تسهب هذه الملاحظات الختامية في بعض النقاط الصعبة بعضَ الشيء والتي تحتاج إلى مزيد من التوضيح، ويُشار إليها على النحو التالي:

إنَّ أكثر الطرق التي تصف بها ميكانيكا الكَم العالم قد تبدو للوهلة الأولى خالية من المنطق، وقد تبدو كذلك أيضًا للوهلة الثانية والثالثة والخامسة والعشرين. ومع ذلك فإنها الخيار الوحيد المتاح.

فإن الميكانيكا الكلاسيكية لنيوتن وأتباعه لا تستطيع تقديم أي تفسير للذرات والنُّظُم الفيزيائية الصغيرة الأخرى. أما ميكانيكا الكَم فتتوافَق على نحوٍ جيد للغاية مع عملية الملاحظة. فدومًا ما تكون عملية إجراء الحسابات صعبة ومُملَّة، لكن بمجرَّد إجرائها فإنها تكون متوافقة تمامًا مع المشاهَدات.

ويصعب التأكيد أكثر من هذا على النجاح العمَلي الملحوظ لميكانيكا الكَم. فعلى الرغم من احتمال أن يكون ناتج أحد القياسات عشوائيًّا وغير متوقَّع، فإن تنبؤات نظرية الكَم تتوافق باتساق مع متوسط النتائج المتحصَّل عليها من قياسات عدة. فأي رصد واسع النطاق سيشتمل على عدد كبير للغاية من الذرات، وبذلك يشتمل على كثير من عمليات الرصد والمشاهَدات على المستوى الذرِّي. مرةً أخرى نحن نرى أن ميكانيكا الكَم ناجحة من حيث توافُقها تلقائيًّا مع نتائج الميكانيكا الكلاسيكية للأجسام الكبيرة، بينما العكس ليس صحيحًا.

فقد ظهرت نظرية الكَم كي تُفسِّر عمليات الرصد التي أُجريَت عن الذرات. فمنذ بداية ظهورها جرى تطبيقها بنجاح على نوى الذرات، وعلى الجسيمات القوية التفاعُل المأخوذة من النواة، وعلى سلوك الكواركات التي تتكوَّن منها تلك الجسيمات. لقد امتدَّ تطبيق هذه النظرية إلى أبعد من هذا بمئات الآلاف من المرات. فالنظم التي تدخل في نطاق دراستها قل حجمها وزاد محتواها من الطاقة بهذا المعدَّل. إنه طريق طويل ومجهد ومليء بالمثابرة والبحث لاستقراء نظرية من مفاهيمها الأصلية، لكن حتى الآن تبدو ميكانيكا الكَم قادرةً تمامًا على التعامل مع هذه النُّظُم القصوى.

حتى الآن يبدو أن ميكانيكا الكَم قابلة للتطبيق على نطاق عالَمي … وعلى نطاق الأجسام الكبيرة تفقد توقُّعات نظرية الكَم سِمتها العشوائية وتتوافَق مع توقُّعات الميكانيكا الكلاسيكية، التي تنطبق جيدًا للغاية على الأجسام الكبيرة. أما على نطاق الأجسام الصغيرة فإن تنبُّؤات نظرية الكَم تأتي دومًا مدعومةً بالتجارب. فحتى هذه التنبُّؤات التي تخلو من الرؤية المنطقية للعالم تكون مؤيَّدة بالبرهان التجريبي. والمثير للاهتمام، كما سنرى في الفصل الرابع، أن ميكانيكا الكَم ستبدو في وضعٍ غريبٍ من التوافُق مع كل عمليات الرصد التي حدثت، في الوقت الذي تجادل فيه بشأن الحاجة لإجراء عمليات رصدٍ على الإطلاق. فيبدو أن العالم أكثر غرابةً مما نتخيَّل، بل ربما أكثر غرابة مما نستطيع تخيله.

مع ذلك، لنذهب في الوقت الحالي، مع أليس وهي تبدأ رحلتها في داخل بلاد الكَم.

روبرت جيلمور

الفصل الأول

إلى داخل بلاد الكَم

كانت أليس تشعُر بالملل؛ فقد كان جميع أصدقائها إما في إجازةٍ أو يزُورون أقاربهم، وكانت السماء تمطر، ولذلك بقيت وحدها داخل المنزل تشاهد التليفزيون. حتى ذلك الوقت من بعد الظهيرة كانت قد شاهدت الجزء الخامس من حلقات مُسلسلة تمهيدية لتعليم لغة الإسبرانتو، وبرنامجًا عن العناية بالحدائق، وبثًّا سياسيًّا مدفوع الأجر، ولهذا شعرت أليس بملل شديد.

نظرت إلى الأسفل نحو الكتاب المُلقى على الأرض بجوار كرسيِّها. كانت نسخة من كتاب «أليس في بلاد العجائب»، الذي كانت تقرؤه من قبلُ وأسقطته هناك عندما انتهت منه. تساءلت في نفسها بقلَّة حيلة وقالت: «لا أعرف لماذا يصعب عرض برامج مُمتعة وأفلام كارتون أكثر في التليفزيون. كم أتمنَّى لو كنت مثل أليس الأخرى؛ فقد كانت تشعر بالملل ثم ذهبت إلى أرضٍ مليئة بالكائنات المثيرة والأحداث العجيبة. ليتني أستطيع الانكماش بطريقةٍ ما والمرور عبرَ شاشة التليفزيون، ربما أجد حينها كل أنواع الأشياء الساحرة.»

حدقت بإحباطٍ في الشاشة، التي كانت في هذه اللحظة تعرض صورة رئيس الوزراء وهو يُخبرها كيف أنه مع وضع كلِّ الأشياء في الاعتبار، أصبحت جميع الأوضاع أفضل بكثيرٍ مما كانت عليه منذ ثلاث سنوات، حتى لو لم تبدُ الأمور دائمًا هكذا. وبينما تشاهد، تفاجأت نوعًا ما حين رأت صورة وجه رئيس الوزراء تنقسم ببطءٍ إلى سحابةٍ من نقاطٍ صغيرة لامعة مُتراقصة، بدت جميعها وكأنها تهرع نحو الداخل، كما لو كانت تدعوها إلى الدخول معها. قالت أليس: «ما هذا؟! أعتقد أنها تريد منِّي اللحاق بها إلى الداخل.» قفزت

على قدميها وبدأت التحرك نحو التليفزيون، ولكنها تعثَّرت في الكتاب الذي طرحته بإهمالٍ على الأرض فسقطت لرعونتها.

عندما سقطت على وجهها أصابها العجب لرؤية أن الشاشة قد تضخَّمت للغاية ووجَدَت نفسها بين دوامة النقاط الصغيرة، تندفع معها بسرعةٍ إلى داخل الصورة. فكرت أليس: «لا أستطيع رؤية أي شيء بينما تندفع هذه النقاط من حولي وتدور في دوامات، فهذا بالضبط يُشبه أن يضيع المرء وسط عاصفة ثلجية. لماذا لا أستطيع حتى أن أرى قدميَّ. أتمنى لو استطعتُ رؤية حتى القليل. فمن الممكن أن أكون في أي مكان.»

في هذه اللحظة شعرت أليس باصطدام قدميها بشيءٍ ما صلبٍ ووجدت نفسها تقف على سطح مستوٍ وصلب. بدأت جميع دوامات النقاط من حولها تتلاشى، ووجدت نفسها محاطة بعدد من الأشياء غير محددة المعالم.

نظرت عن كثبٍ نحو أقرب الأشياء إليها ولاحظت جسمًا صغيرًا يصعد على خصرها. كان من العسير للغاية أن تتعرف على ماهيته، إذ ظل طوال الوقت يقفز جيئة وذهابًا، متحركًا بسرعة كبيرة مما جعل من الصعب للغاية رؤيته بوضوح. بدا هذا الجسم كما لو أنه يحمل عصًا ما أو ربما مظلةً مطوية، كانت مُنتصبة لأعلى في الهواء. عرَّفت أليس نفسها بأسلوب مهذب وقالت: «أهلًا، أنا أليس، هل تسمح لي أن أسألك مَن تكون؟»

قال الجسم: «أنا إلكترون؛ أنا إلكترون ذو لف مغزلي لأعلى. ويمكنك بسهولة تمييزي عن صديقي هناك، وهو إلكترون ذو لف مغزلي لأسفل؛ لذلك فنحن مُختلفان إلى حد ما.» تحدَّث بصوت خفيض وأضاف شيئًا يبدو مثل «فليحيَ الاختلاف!» أما بالنسبة إلى أليس فقد بدا الإلكترون الآخر شديد الشبه بهذا الإلكترون، إلا أن مظلَّته، أو أيًّا كان ما يحمله، كانت تشير إلى الأسفل نحو الأرض. كان من الصعب للغاية أيضًا الجزم بهذا يقينًا، وهذا لأن هذا الجسم الآخر كان يقفز جيئةً وذهابًا بسرعة أيضًا كالإلكترون الأول تمامًا.

الجسيمات على المستوى الذري تَختلِف عن الأشياء الكبيرة الحجم. فالإلكترونات ضئيلة الحجم للغاية ولا تبدو عليها أي ملامح مميزة، ما يجعلها جميعًا متماثلة تمامًا. تقوم الإلكترونات بدوران من نوع ما على الرغم من عدم قدرتنا على تحديد ما يدور فيها بالضبط. ومن الصفات المميزة والفريدة أن كل إلكترون يدور بالسرعة نفسها بالضبط، بصرف النظر عن الاتجاه الذي تختار قياس الدوران فيه. والاختلاف الوحيد بينها أن بعضها يدور في اتجاه والبعض في الاتجاه الآخر. ووفقًا لاتجاه دوران الإلكترونات يُمكِن تحديد ما إذا كان لفها المغزلي لأعلى أو لأسفل.

قالت أليس لأول شيءٍ تتعرف عليه: «من فضلك، هل يُمكنُك أن تتكرَّم وتقف ثابتًا في مكانك للحظة؛ إذ يصعب عليَّ رؤيتك بوضوح على الإطلاق؟»

قال الإلكترون: «أنا كريم للغاية، لكني أخشى من عدم وجود مساحة كافية لذلك، لكني سأُحاول.» حين قال هذا الكلام أبطأ من معدَّلِ اهتزازاته، لكن مع بطء حركته أكثر، أخذ في التمدُّد على جانبَيه وأصبح أكثر انتشارًا. والآن، على الرغم من أنه لم يعُد يتحرَّك بسرعةٍ على الإطلاق، فقد بدا ضبابيًّا وغير واضح المعالم، ولم تعدْ أليس تستطيع تحديد شكله تمامًا كما في السابق. قال وهو يلهث: «ذلك أفضل ما أَقدِر على فعله، أخشى من أنه كلما تحرَّكتُ بسرعة أبطأ زاد انتشاري في المكان. فهذا هو حال الأشياء هنا في بلاد الكَم؛ كلما صغُر الحيِّز الذي تشغلينه، تحتَّم عليكِ التحرك بسرعة أكبر. إنه أحد القوانين ولا يوجد ما أستطيع أن أفعله حيال هذا.»

واصل مُرافقُ أليس الكلام بينما بدأ مرةً أخرى في القفز بسرعة حولها: «في الواقع لا يوجد مكانٌ لإبطاء السرعة فيه هنا، فازدحام الرصيف يزيد؛ ما يُلزمني باحتواء نفسي أكثر.» بالطبع فإن المساحة التي تقف فيها أليس أصبحت مُزدحمةً للغاية؛ فقد أصبحت مليئةً بأجسامٍ صغيرة مكدَّسة، كلٌّ منها يتحرَّك بحماسٍ ذهابًا وإيابًا.

فكرت أليس: «يا لها من كائنات غريبة! لا أعتقد أني سأستطيع أبدًا رؤية شكلها الفعلي إن لم تقف ثابتةً لدقيقة، ولا يبدو أن ثمَّة فرصة كبيرة لحدوث هذا.» وبما أنها فيما يبدو لن تجد وسيلة تجعلها تُقلِّل من سرعتها، فقد جربت الحديث في موضوع آخر. تساءلت: «هل يُمكنُكم أن تخبروني من فضلكم أي نوع من الأرصفة هذا الذي نقف عليه؟»

ردَّ واحد من الإلكترونات مبتهجًا: «بالتأكيد رصيف محطة قطار.» (كان من الصعب جدًّا على أليس أن تحدِّد أيٌّ منهم الذي تحدَّث؛ فقد كانوا بالفعل جميعًا بعضهم يُشبهون بعضًا كثيرًا.) «سنستقل القطار المَوجي إلى الشاشة التي ترينها، وسيكون عليكِ تبديل القطارات وركوب قطار الفوتون السريع، على ما أظن، هذا إن أردتِ الذهاب إلى أبعد من هذا.»

سألت أليس: «هل تقصد شاشة التليفزيون؟»

صاح أحد الإلكترونات: «أجل، بالتأكيد، هذا ما أَقصده.» كادت أليس تُقسِم بأن هذا الصوت لم يكن ذات الإلكترون الذي تكلَّمَ للتو، لكن كان من الصعب للغاية التأكُّد من هذا. «هيا بسرعة! القطار وصَل وعلينا الركوب فيه.»

ينصُّ مبدأ عدم اليقين لهايزنبرج على أنه لا يُمكن تحديد قيم دقيقة لموقع أيِّ جُسيم وسرعته. وهذا يعني أنه لا يُمكنُ لأي جُسيم أن يبقى ثابتًا في مكان معين؛ ذلك لأن الجسيم الثابت تكون له سرعة محدَّدة وهي الصفر.

من المؤكَّد أن أليس كانت تستطيع رؤية صفٍّ من مقصورات صغيرة موجودة أعلى الرصيف. كانت صغيرةً للغاية؛ وبعضُها كان خاليًا، وبعضها كان يَحتوي على إلكترونٍ واحد، في حين كان بعضُها يَحتوي على اثنين. كل المقصورات الخالية كانت تَمتلئ بسرعة؛ ففي الحقيقة لم يكن يبدو أن أيًّا منها قد بقيَ خاليًا. إلا أن أليس لاحظَت أنه لا تُوجد أي مقصورة تحتوي على أكثر من إلكترونَين اثنين. فحين كانا يَمران بجوار أيٍّ من هذه المقصورات فإن الإلكترونَين شاغلَيها كانا يَصرُخان: «لا مكان! لا مكان!»

سألت أليس مرافقَها: «بالتأكيد يُمكنك محاولة إقحام أكثر من اثنين في مقصورة، أليس كذلك؟ فالقطار مُزدحِم للغاية.»

«لا، لا يُمكن! فالقاعدة تقضي بعدم وضع أكثر من إلكترونين معًا أبدًا.»

قالت أليس في أسف: «أعتقد إذن أن علينا أن نستقلَّ مقصورتَين مختلفتَين.»

لكنَّ الإلكترون طمأنها: «لا توجد أي مشكلة بالنسبة إليكِ، لا مشكلة على الإطلاق! فبإمكانك الدخول في أي مقصورة تُريدينها، بكل تأكيد.»

ردَّت أليس: «أنا بالتأكيد لا أفهم السبب في حدوث هذا، فإن كانت المقصورة ممتلئةً تمامًا لدرجة عدم قدرتها على استيعابك، فبالتأكيد سيَصعُب دخولي فيها أيضًا.»

«على الإطلاق! فالمقصورات غير مسموح لها باحتواء أكثر من إلكترونين اثنين، ولهذا تكون تقريبًا جميع الأماكن المخصصة للإلكترونات قد شُغلت، لكنكِ لستِ إلكترونًا! ولا توجد أليس أخرى على متن القطار، ولذلك توجد مساحة شاسِعة لاستيعاب أليس واحدة في أي مقصورة.»

لم يكن هذا منطقيًّا من وجهة نظر أليس، ولكنها كانت تخشى من أن يبدأ القطار في التحرك قبل أن يجدا مقاعد لهما، ولهذا بدأت تبحث عن مكانٍ خالٍ يمكن أن يحمل إلكترونًا آخر. سألت مرافقها: «ماذا عن هذا المكان؟ فهذه مقصورة فيها بالفعل إلكترون واحد فقط، هل يُمكنك الدخول هنا؟»

قال بسرعة وقد بدا مرتعبًا إلى حد كبير: «بالتأكيد لا، فهذا إلكترون آخر ذو لفٍّ مغزليٍّ لأعلى. لا يُمكنني الوجود في المقصورة نفسها مع إلكترون ذي لفٍّ مغزلي لأعلى، يا له من اقتراح! إنه ضد مبدئي تمامًا.»

سألته أليس: «ألا تقصد أنها ضد مبادئك؟»

رد عليها في حنق: «أنا أعني ما قلته، فهذا ضد مبدئي أو بالأحرى مبدأ باولي، إنه يحظر على أي إلكترونَين منَّا أن يفعلا الشيء ذاته، بما في ذلك الوجود في المكان نفسه وأن يكون لهما اللفُّ المغزلي نفسه.»

> الإلكترونات مُتماثِلة تمامًا وتتبع مبدأ باولي للاستبعاد (انظر الفصل الخامس)، الذي يمنع وجود أكثر من إلكترون واحد في الحالة نفسها (أو اثنين منها، إذا ضمَمنا إلى ذلك اتجاهات اللف المغزلي المحتملة المختلفة).

لم تُدرك أليس في الواقع السبب في انزعاجه، لكنها نظرت حولها في عجالة كي تجد مقصورةً أخرى تُلائمه أكثر. نجحت في العثور على واحدة تحمل إلكترونًا واحدًا، ومن النوع ذي اللف المغزلي لأسفل. فقفز مُرافق أليس إلى داخل هذه المقصورة بسرعة بالغة. اندهشت أليس حين رأت أنه على الرغم من صغر المقصورة التي تبدو الآن مُمتلئة، فإنه بطريقةٍ ما ثمة مساحة كافية يُمكنها الدخول فيها بسهولة كبيرة.

وبمجرد استقرارهما داخل القطار انطلق في رحلته. كانت الرحلة خالية من الأحداث ولم تكن المناظر جميلة. لذا شعرت أليس بالفرح حين بدأ القطار يبطئ. فكَّرت أليس: «لا بد أن تكون هذه هي الشاشة، أتساءل عما سيحدث هنا.»

بمجرد نزولهما من القطار عند الشاشة وجدا هياجًا شديدًا في كل مكان. تساءلت أليس بصوتٍ عالٍ: «ما الذي يحدث هنا؟ لماذا يبدو الجميع ثائرين للغاية.» جاءت الإجابة عن تساؤلاتها من إعلانٍ بدا وكأنه قادم من الهواء المحيط بالمكان.

«إنَّ فوسفور الشاشة في الوقت الحالي متحمِّس للغاية بسبب الإلكترونات القادمة إليه، وسنَشهد انبعاثات الفوتون قريبًا، فلتكونوا مستعدين لمغادَرة إكسبريس الفوتون.» نظرت أليس حولها لترى إن كان باستطاعتها رؤية القطار السريع وقتَ وصوله حين رأت اندفاعًا لأجسام لامعة عبر الرصيف. حاصر الزحام أليس فأصبحت في وسطه، وحملوها

معهم حيث تكدسوا جميعًا داخل مقصورة واحدة. فكَّرت أليس بينما كان هذا الحشد يُحيط بها، وقالت: «حسنًا، لا يبدو أنهم قلقون بشأن أي مبدأ، سواء كان مبدأ باولي أو غيره؛ فهؤلاء بالتأكيد ليسوا قلقين بشأن الوجود معًا في المكان نفسه. أفترض أن القطار السريع على وشك الانطلاق قريبًا، أتساءل إلى أين ...»

«... سنصلُ في رحلتنا هذه المرة» أنهت حديثها هكذا وهي تخرج من القطار إلى الرصيف. قالت بعد هذا: «يا إلهي! لقد كانت رحلة سريعة بالتأكيد، فقد بدا كأنها لم تأخذ أي وقت على الإطلاق.» (كانت أليس محقة في ذلك تمامًا؛ فالرحلة في الحقيقة لم تأخذ أي وقت على الإطلاق، حيث إنَّ الزمن يتجمَّد فعليًّا بالنسبة إلى أي جسم يسافر بسرعة الضوء.) مرةً أخرى وجدت نفسها محاطةً بحشد من الإلكترونات، تَندفع جميعها مبتعدة عن الرصيف.

صاح أحدها نحوها بينما تندفع جميعًا مُبتعدة: «تعالَي معنا! علينا الخروج من المحطة الآن إن أردنا الذهاب إلى أي مكان.»

سألته أليس بتردُّد: «من فضلك، هل أنت الإلكترون نفسه الذي كنت أتحدث إليه من قبل؟»

أجابها الإلكترون وهو يُغادِر إلى ممرٍّ جانبي: «نعم أنا هو.» انجرفَت أليس مع حشود الإلكترونات وحُملَت عبر البوابة الرئيسية للمحطة.

قالت أليس: «أعترف أن هذا مزعج للغاية بالفعل؛ فقد فقدت الآن الشخص الوحيد الذي أعرفه على الإطلاق في هذا المكان الغريب ولا يُوجد مَن يفسر لي ما يحدث.»

قال صوتٌ يأتي من عند مستوى ركبتها تقريبًا، وكان صادرًا من أحد الإلكترونات: «لا تَقلقي يا أليس، سوف أُشير عليكِ إلى أين تذهبين.»

سألت أليس وهي مُتفاجئة: «كيف تعرف اسمي؟!»

«تفسير ذلك بسيط؛ فأنا نفس الإلكترون الذي كان يتحدَّث إليك من قبل.»

هتفَت أليس: «من غير المُمكن أن تكون نفس الإلكترون! فقد شاهدْتُ هذا الإلكترون وهو يذهب مُبتعدًا في اتجاه مختلف. ربما لم يكن هو ذلك الذي كنت أتحدَّث إليه من قبل؟»

«بكل تأكيدٍ كان هو.»

قالت أليس استنادًا إلى المنطق: «إذن لا يُمكن أن تكون أنت نفس الإلكترون، أنت تعرف، فلا يُمكن أن تكونا أنتما الاثنان إلكترونًا واحدًا.»

ردَّ الإلكترون: «بل يُمكننا هذا! فأنا وهو واحد؛ كلنا جميعًا نفس الإلكترون. كلنا الشيء نفسه تمامًا!»

احتجَّت أليس وقالت: «هذا سخيف، فأنت هنا بجواري بينما هُرع هو مُبتعِدًا نحو مكانٍ ما هناك؛ لذلك من غير المُمكن أن تكونا أنتما الاثنان الشخص نفسه، فلا بد أن يكون أحدكما مُختلفًا عن الآخر.»

صاح الإلكترون وهو يقفز لأعلى وأسفل من فرط إثارته: «على الإطلاق، فجميعنا متماثلون، ولا توجد طريقة على الإطلاق تمكِّنك من التمييز بيننا. ولهذا كما ترين هو لا بد أن يشبهني وأنا لا بد أن أشبهه.»

في هذه اللحظة بدأت كل الإلكترونات المحتشدة حول أليس تصرخ: «أنا هو نفسه!» «وأنا هو نفسه أيضًا!» «وأنا هو نفسه تمامًا!» «أنا أيضًا أُشبهك!» كان الصخب رهيبًا، فأغلقَت أليس عينَيها ووضعَت يديها على أذنيها حتى خفتت الضوضاء مرةً أخرى.

حين ساد الهدوء مرةً أخرى، فتحت أليس عينيها ورفعت يديها من على أذنيها. لم تجد أيَّ أثر لحشود الإلكترونات التي كانت تَتزاحم حولَها، ووجدت أنها تسير إلى خارج بوابة المحطة بمفردها تمامًا. وحين نظرت حولها وجدت نفسها في شارعٍ بدا للوهلة الأولى طبيعيًّا تمامًا. انعطفت يسارًا وبدأت تمشي على الرصيف.

وقبل أن تذهب بعيدًا مرَّت بجسم يقف مُكتئبًا أمام أحد المداخل ويُفتِّش في جيوبه. كان الجسم قصيرًا وشاحبًا للغاية. كان من الصعب تمييز ملامح وجهه بوضوح، تمامًا كحالِ جميع من قابلتْهم أليس مؤخَّرًا، لكن أليس رأت أنه ربما يبدو أقرب إلى شكل الأرنب. «يا إلهي! يا إلهي! لقد تأخرتُ كثيرًا ولا أستطيع العثور على مفاتيحي في أيِّ مكان، ولا بد لي من الدخول على الفور!» وبعدما انتَهى من هذا الكلام تراجَعَ عدة خطوات للخلف ثم ركض بسرعة نحو الباب.

لقد ركض بسرعة بالغة، حتى إن أليس لم تَستطع رؤيته في أي مكان محدَّد، ولكنها رأت بدلًا من ذلك خيطًا من صور بَعْدية أظهرت كل المواضع التي مرَّ بها على طول خطِّ سيره. امتدَّت هذه من النقطة التي بدأ منها حتى الباب، لكن بدلًا من أن تتوقَّف هذه الصور عند الباب كما توقعت أليس، استمرَّت عبر الباب، وتقلص حجمها فصار أصغر فأصغر حتى أصبح من الصعب للغاية رؤيتها. لم يكن لدى أليس رفاهية الوقت الكافي كي تُسجِّل هذه السلسلة العجيبة من الصور عندما ارتدَّ عائدًا بالسرعة نفسها، مخلفًا سلسلةً من الصور مرةً أخرى. هذه المرة انقطعَت فجأة بسبب زحف ذلك الشخص التعيس الحظ على ظهره في مجرى مياه الصَّرف. كان من الواضح أن ذلك لم يفتَّ في عضدِه بأي حال؛ فقد استجمَعَ نفسه ونهض وأسرع نحو الباب مجدَّدًا. مرةً أخرى ظهرت سلسلة من الصور

البَعْدية، تتقلَّص في الحجم مع مرورها عبر الباب، ومرةً أخرى عاد وسقط طريحًا على ظهره.

ومع اندفاع أليس نحوه كرَّر هذا الفعل عدة مرات أخرى، فظلَّ يُلقي بنفسه على الباب ثم يسقط على ظهره. صرخَت أليس: «توقَّف، توقَّف ... يجب ألا تفعل هذا، فلا بد أنك ستُؤذِي نفسك.»

توقف هذا الشخص عن الركض ونظر نحو أليس. «ماذا؟! أهلًا يا عزيزتي، أخشى أن عليَّ الاستمرار في فعل هذا. فأنا محبوس في الخارج ويجب أن أدخل سريعًا؛ لذا لا خيار أمامي إلا أن أُحاول أن أعبر هذا الحاجز وأصنع نفقًا فيه.»

نظَرَت أليس إلى الباب الذي كان ضخمًا وصلبًا، وقالت: «لا أعتقد أن لديك أدنى فرصة للعبور عبر هذا الباب عن طريق مجرد الركض نحوه. هل تُحاول كسرَه؟»

«لا، بالتأكيد لا! فأنا لا أريد تهشيم بابي الجميل. أريد فقط أن أعبر خلاله. ومع ذلك أخشى أنكِ مُحقَّة فيما تقولينه؛ فاحتمال نجاحي في المرور عبره ليس كبيرًا على الإطلاق، لكن عليَّ المُحاوَلة.» بمجرَّد أن انتهى من قول هذا الكلام توجَّه نحو الباب مرةً أخرى. تركتْه أليس إذ فقدت فيه الأمل، وابتعدت عنه في حين ظل هو يرتد إلى الخلف مرةً أخرى.

بعدما سارت أليس بضع خطوات لم تَستطِع مقاومة النظر إلى الخلف كي ترى إن كان بأيِّ حال من الأحوال قد تخلَّى عن جهوده ومحاوَلاته، ورأت من جديد سلسلة الصور تَندفِع نحو الباب وتتقلَّص في الحجم عند وصولها إليه، فانتظرت ارتداده عن الباب. في السابق كان الارتداد يأتي بعد هذا مباشَرةً، لكنه هذه المرة لم يَحدُث. فقد كان الباب لا يزال في مكانه ويبدو صلبًا ومهجورًا إلى حدٍّ ما، ولكن لم يكن يوجد أدنى أثر له. بعد مرور عدة ثوانٍ دون حدوث أي شيء، سمعت أليس أصواتًا صاخبةً لترابيس وأقفالٍ من وراء الباب ثم فُتح على مصراعيه. رأت مُرافقها المختفي وهو ينظر عبر الباب ويلوِّح لها. صاح قائلًا: «لقد حالفني الحظ بالفعل! ففي الواقع إن احتمال اختراق حاجز بهذا السُّمك في غاية الضآلة، ولهذا فأنا محظوظ بشكل مذهل إذ استطعتُ الدخول عبره بهذه السرعة.» أغلق الباب بضربة عنيفة وبدا أن هذا اللقاء قد انتهى عند هذا الحد، فسارت أليس في الشارع.

حين ابتعدَت أليس قليلًا عن هذا المكان وصلت إلى قطعة أرض خالية على جانب الطريق اجتمعَ فيها مجموعة من البنائين حول كومة من قوالب الطوب. افترضت أليس أنهم مجموعة من البنائين لأنهم كانوا يعملون على تفريغ المزيد من قوالب الطوب من على

عربة صغيرة. فكَّرت في نفسها وقالت: «حسنًا، على الأقل يبدو أنَّ هؤلاء الناس يتصرَّفون بطريقة منطقية.» على الفور جاءت مجموعة أخرى تركض من إحدى الزوايا، وكانت تَحمِل ما بدا كسجادة ضخمة مَطوية وشرعوا في فردها في هذا الموقع. عند فردها، رأتها أليس مخطَّطَ بناءٍ من نوعٍ ما. من الواضح بالتأكيد أنه كان مخططًا كبيرًا للغاية؛ إذ غطَّى معظَم المساحة المتاحة. قالت أليس: «أعتقد أنه على الأرجح في نفس حجم المبنى الذي يُريدون بناءه، لكن كيف يتمكَّنون من بناء أي شيء إن كان مخطط البناء يشغل المساحة كلها بالفعل؟»

انتهى البنَّاءون من فرد المخطط في مكانه ثم عادوا إلى كومة قوالب الطوب. التقطوا جميعًا قوالب الطوب وبدءوا في رميها نحو المخطط، بأسلوب عشوائي تمامًا على ما يبدو. كان الأمر فوضويًّا للغاية؛ فبعضها كان يسقط في مكان ما، وبعضها في مكان آخر، ولم تكن أليس ترى هدفًا من هذا على الإطلاق. سألت شخصًا كان يقف على أحد الجوانب وبدا أنه لا يفعل شيئًا وافترضت أنه رئيس العمال: «ما الذي تفعلونه؟ أنتم تُكدِّسون قوالب الطوب معًا دون ترتيب، ألا يُفترَض بكم تشييد بناء؟»

تصفُ نظرية الكمِّ سلوك الجسيمات من حيث توزيع الاحتمالات، والرصد الفعلي للجسيمات الفردية يحدث عشوائيًّا في إطار هذا. قد تتضمن الاحتمالات عمليات محظورة كلاسيكيًّا، مثل اختراق الجسيمات حاجزًا رفيعًا من الطاقة.

أجاب رئيس العُمال: «بلى، بالتأكيد، يا عزيزتي. هذا صحيح، ولذلك فإن التذبذبات العشوائية ما زالت كبيرةً بما يَكفي لإخفاء هذا النمط، لكن بما أننا قد انتهينا من وضع توزيع الاحتمالات للنتيجة التي نسعى لتحقيقها، فسنصل إلى هدفنا، لا تخافي.»

شعرت أليس بأن استعراض التفاؤل هذا ليس مقنعًا، لكنها حافظت على هدوئها وظلَّت تُراقب سيل قوالب الطوب وهي تواصل السقوط في موقع البناء. وما أثار دهشتها أنها لاحظت تدريجيًّا، أن المزيد من القوالب تسقط في أماكن بعينها أكثر من أماكن أخرى، وأنها بدأت تستطيع رؤية ملامح شكل الجدران والمداخل. ظلَّت تشاهد بانبهار مع بدء ظهور شكل واضح للحجرات من رحم تلك الفوضى الأولى. صاحت أليس: «يا إلهي، يا له من أمر مذهل! كيف استطعتم فعل هذا؟»

ابتسم رئيس العمال وواصَل حديثه: «حسنًا، ألم أخبرك من قبل؟ فقد شاهدتِنا ونحن نضع توزيع الاحتمالات ونفرده قبل أن نبدأ. إنه يحدد مكان وضع قوالب الطوب ومكان عدم وضعها. يجب علينا فعل هذا قبل أن نبدأ بعملية وضع القوالب؛ إذ إننا لا نستطيع التنبُّؤ بالمكان الذي سيذهب إليه كل قالب حين نلقيه، كما تعرفين.»

قاطعته أليس: «أنا لا أفهم السبب في هذا! فأنا معتادة على رؤية قوالب الطوب توضع في مكانها الواحد تلوَ الآخر في خطوط مرتبة.»

«حسنًا، فإن هذا ليس الأسلوب المتبع في بلاد الكَم. فنحن هنا لا نستطيع التحكم في المكان الذي يذهب إليه كل قالب، فلا نتمكَّن من حساب إلا احتمال سقوطه في مكانٍ ما. هذا يعني أنه عندما يكون لديكِ عدد قليل من القوالب فقط فمن الممكن أن تذهب إلى أي مكان تقريبًا ويبدو أنها لا تتبع أي نمط على الإطلاق. ومع زيادة الأعداد تجدين القوالب بشكلٍ ما حيث يوجد احتمال لوجودها، وحيث يكون هذا الاحتمال أعلى، تجدين المزيد من القوالب. وحين يُوجد عدد كبير من القوالب المستخدمة فإن عملية البناء تَنجح في النهاية على أكمل وجه.»

وجدت أليس أن هذا كله شديدُ الغرابة، على الرغم من حديث رئيس العمال عن الأمر بدقة بالغة، مما جعل الأمر يبدو كما لو أن له منطقًا غريبًا. ولأن إجاباته جعلتْها مُرتبكةً أكثر من أي وقتٍ مضى، فلم تطرح المزيد من الأسئلة في هذا الوقت. لذلك شكرتُه على ما قدمه لها من معلومات، ومضت قُدمًا في الطريق.

بعد هذا بوقتٍ قصير مرَّت بجوار واجهة عرضٍ كان معروضًا فيها إعلان كبير:

هل أنت غير راضٍ عن حالك؟
هل تريد الارتقاء إلى مستوًى أعلى؟
نحن سنُساعدك في تحقيق هذا التحوُّل مقابل ١٠ إلكترون فولت فقط.
(العرض خاضع لقانون باولي الطبيعي للاستبعاد.)

صاحت أليس في يأس: «يبدو هذا كله مغريًا للغاية، أنا متأكدة، لكن ليست لديَّ أدنى فكرة عما تتحدث عنه، وإن تمكنتُ من سؤال أحدٍ ما فأنا متأكدة من أن الإجابة ستتركني في حالٍ أسوأ حتى مما أنا عليه الآن. فأنا لم أفهم حقيقة أي شيء مما رأيته حتى الآن. أتمنى لو أجد أحدًا ما يُعطيني تفسيرًا جيدًا لما يجري من حولي.»

لم تكن تدرك أنها تحدَّثت بصوت مرتفع حتى وجدت أحد المارة يجيبها ناصحًا: «إذا أردتِ أن تَفهمي بلاد الكَم فأنتِ بحاجة إلى أن تجدي أحدًا ما يشرح لك ميكانيكا الكَم، ومن أجل هذا عليك الذهاب إلى معهد الميكانيكا.»

صاحت أليس في فرح: «حسنًا، هل سيتمكَّنُون من مساعدتي في فهم ما يحدث هنا؟ هل سيَستطيعون تفسير كل الأشياء التي سبقَ أن رأيتها، مثل ذلك الإعلان في واجهة العرض هناك، وإخباري بالمقصود بـ «الإلكترون فولت»».

أجابها قائلًا: «أعتقد أن الميكانيكا ستَستطيع أن تقدم لكِ تفسيرًا لأغلب تلك الأمور، لكن بما أن الإلكترون فولت هو وحدة للطاقة فالأرجح أنه من الأفضل لكِ البدء بالسؤال عنه في بنك هايزنبرج، خاصةً أنه على الجانب الآخر من الطريق هناك.»

نظرت أليس إلى الجانب الآخر من الطريق إلى المكان الذي أشار إليه ورأت مبنًى كبيرًا بواجهة رسمية للغاية، من الواضح أنها صُمِّمت لتكون مبهرة. كان له رواق طويل بأعمدة حجرية وأعلى هذه الأعمدة كُتب بحروف كبيرة اسم المكان «بنك هايزنبرج». عبرت أليس الطريق، ارتقت الدرج الطويل ذا السلالم الحجرية والذي قادها إلى المدخل الشاهق الذي عبرتْه.

الفصل الثاني

بنك هايزنبرج

عندما عبرت أليس المدخل وجدَت نفسها في قاعة كبيرة ذات أعمدة وجدران رخامية. بدا قريبَ الشبه للغاية من البنوك الأخرى التي رأتها من قبل لكنها كانت أكبر حجمًا، على ما يبدو. كان هناك صف من نوافذ الصرافين على طول الجدار البعيد، وكانت المساحة الفسيحة أمام هذه النوافذ مقسَّمة بحواجز من الشريط المتحرك؛ حتى يمكن إرشاد العملاء للسير في خطوط منتظمة بينما ينتظرون الحصول على الخدمة. ومع ذلك فقد بدا المكان في هذه اللحظة خاليًا من أي عملاء على الإطلاق. فبخلاف الصرافين خلف نوافذهم وحارس البنك الواقف بجوار الباب، لم ترَ أليس أحدًا.

وبما أنها نُصحت بأن تبحث عن معلومات في البنك، بدأت تسير في تصميمٍ نحو صفِّ النوافذِ البعيد. صاح الحارس بجوار الباب: «أنتِ، فلتنتظري لحظة من فضلك! أين تظنين نفسك ذاهبة، أيتها الآنسة الصغيرة؟ ألا تستطيعين رؤية الصف؟»

ردَّت أليس: «أنا آسفة، لكني في الحقيقة لا أستطيع رؤية أي صف. فلا يوجد أحد هنا.»

أجابها الحارس بشكل قاطع: «بكل تأكيد يُوجد الكثير من الناس هنا! فيبدو أن لدينا زحامًا من «لا أحد» اليوم. إلا أننا عادةً ما نشير إليهم بكلمة «افتراضيِّين». فلم أرَ قط في حياتي مثل هذا العدد الكبير للغاية من الجسيمات الافتراضية في انتظار الحصول على قروضها من الطاقة.»

بات لدى أليس شعور مألوف الآن بأن الأشياء لن تتَّضح أكثر بسرعة كبيرة. نظرت نحو النوافذ ورأت أنه على الرغم من أن المساحة أمامها ما زالت تبدو خالية تمامًا، إلا أن جميع الصرافين كانوا مشغولين للغاية. ومع استمرار مراقبتها لهم رأت أجسامًا لامعة تظهر، واحدًا تلو الآخر ويقفون أمام إحدى نوافذ الصرف ثم يندفعون سريعًا إلى خارج

البنك. رأت أمام إحدى نوافذ الصرف زوجًا من الأجسام يتَّخذان معًا شكلًا مرئيًّا أمام إحدى الشبكات. تعرَّفت على أحدهما أنه إلكترون، وبدا الآخر شبيهًا له تمامًا، ولكنه كان نوعًا من الصورة السالبة للأول، على العكس تمامًا من جميع الإلكترونات التي رأتها من قبلُ في كل شيء.

همس صوت في أذنها: «هذا بوزيترون، وهو مضادٌّ للإلكترون.» نظرت أليس حولها فرأت سيدةً شابةً حادةَ الملامح وأنيقة الملابس.

سألتها: «من أنتِ، يا سيدتي؟»

ردَّت مرافقتها: «أنا مديرة البنك. أنا المسئولة عن توزيع قروض الطاقة لكل الجسيمات الافتراضية هنا. معظم هذه الجسيمات تكون فوتونات، كما ترَين، لكن يأتي إلينا أحيانًا أزواج من الجسيمات والجسيمات المضادة، التي تأتي إلينا معًا تطلب قرضًا، مثل زوج الإلكترون والبوزيترون اللذَين كنتِ تنظرين إليهما منذ قليل.»

سألت أليس: «لماذا تحتاج إلى قروض الطاقة؟ ولماذا لا أستطيع رؤيتها قبل أن تحصل عليها؟»

ردَّت مديرة البنك: «حسنًا، كما تعلمين حتى يوجد الجسيم بصورة صحيحة، بحيث يصبح جسيمًا حرًّا قادرًا على الحركة في كل مكان ويمكن ملاحظته بشكل طبيعي وما إلى ذلك، فلا بد أن يتمتع، على الأقل، بالحد الأدنى من الطاقة التي نطلق عليها اسم «طاقة كتلة السكون». هذه الجسيمات الافتراضية المسكينة لا تَمتلك حتى هذه الطاقة، وأغلبها لا توجد لديه أي طاقة على الإطلاق، ولهذا ليس لها وجود فعلي. ولحسن حظها يمكنها الحصول على قرض من الطاقة في البنك هنا، ويسمح لها هذا بالوجود فترة زمنية قصيرة.» أشارت إلى لافتة على الجدار مكتوب فيها:

شروط القرض

$$\Delta E \Delta \mathrm{t} = h/2$$

نشكر لكم التسديد الفوري.

«تُدعى هذه علاقة هايزنبرج، وهي تحكم جميع معاملاتنا التجارية. تُسمى القيمة h ثابت بلانك، وهي القيمة المختزلة على نحو صحيح، بالطبع. تُوضِّح هذه العلاقة سعر الصرف لقروض الطاقة التي نُقدمها. كما أن المقدار ΔE هو مقدار الطاقة المقترضة، وΔt هي مدة هذا القرض، كما ترَين.»

قالت أليس محاوِلةً متابعة ما تقوله المديرة: «تقصدين أن هذا يشبه سعر الصرف بين عملات مختلفة، وعليه فكلما زادت مدة القرض، زادت الطاقة التي يُمكن الحصول عليها.»

«لا، لا العكس تمامًا! إن حاصل ضرب الطاقة في الزمن يساوي قيمة ثابتة، ولذلك كلما زاد مقدار الطاقة، قصرت الفترة الزمنية المسموح لهم بالاحتفاظ بها خلالها. وإذا أردت رؤية ما أقصده، فقط انظري إلى ذلك الجسيم الغريب ومضاد الجسيم اللذَين حصَلا للتوِّ على قرضٍ من النافذة رقم ٧.»

نظرت أليس إلى حيث أشارت المديرة فرأت ما أثار دهشتها كثيرًا. فقد وقف أمام النافذة زوج من الأشكال، أحدهما عكس الآخر، على النحو نفسه الذي كان عليه الإلكترون والبوزيترون اللذَان رأتهما من قبل. إلا أن هذا الزوج كان يلمع لمعانًا متوهِّجًا، ويشغل مساحة كبيرة للغاية لدرجة أن الصراف لم يكن يُرى من ورائه. لم تملك أليس إلا الإعجاب ببهاء هذين الاثنين، لكنها ما كادت تفتح فمها كي تُعلِّق حتى أصبَحا ضبابيَّين ثم تلاشيا تمامًا.

لدى معظم الجُسيمات كتلة سكون وهي تعادل كميةً كبيرةً من الطاقة. والجسيمات الافتراضية التي لا تَمتلك أي طاقة ابتدائية بإمكانها أن يظلَّ لها وجود لفترة وجيزة، وذلك عن طريق اقتراض الطاقة التي تحتاج إليها من أجل كتلة سكونها في شكل تموج كمومي.

واصلت المديرة حديثها في هدوء: «هذا توضيحٌ لما كنت أقوله، فقد أخذ هذا الزوج قرضَ طاقةٍ هائلًا حتى يدعم كتلة سكونه التي يحتاج إليها من أجل نمط حياته. ولأن القرض كان كبيرًا للغاية، كان وقت السداد قصيرًا للغاية أيضًا. لقد كان قصيرًا جدًّا لدرجة أن موعد سداده جاء قبل أن يتمكن هذا الزوج حتى من مغادرة نافذة الصراف. ونظرًا لأن مثل هذه الجسيمات الضخمة لا يُمكنها الابتعاد كثيرًا قبل أن يكون لزامًا عليها سداد قرض الطاقة، فإنها تُعرف في مجالنا هذا بالجسيمات القصيرة الأجل.»

سألت أليس، التي شعرت بأنها ربما تكون قد اكتشفت أخيرًا شيئًا محدَّدًا: «وهل العلاقة بين الزمن والطاقة ثابتة لكل فرد إذن؟»

«نعم، بالفعل؛ فثابت بلانك هو دائمًا نفسه في كل مكان وكل زمان يستخدم فيه، فهو يُسمى «ثابت كوني»، وهذا يعني ببساطة أنه لا يتغير أبدًا في كل مكان.»

ثم واصلت المديرة حديثها: «نحن نتعامل بالطاقة هنا في البنك، وهذا لأن الطاقة هي العملة هنا في بلاد الكَم. فكما تستخدمين الجنيهات أو الدولارات عملةً لكِ، فإن وحدة الطاقة التي نستخدمها نحن في أغلب الوقت تُدعى إلكترون فولت. كما أن كمية الطاقة الموجودة لدى الجسيم هي التي تُحدِّد ما يقدر على فعله، ومقدار السرعة التي يُمكنه التحرك بها، والحالة التي يُمكنه الدخول فيها، ومقدار تأثيره في النُّظُم الأخرى، فيعتمد كل هذا على مقدار الطاقة التي يَمتلكها.

ليس جميع الجُسيمات مُعدمة تمامًا مثل تلك المُصطفَّة هنا؛ فكثير من الجُسَيمات لديها كمية كافية من الطاقة في حوزتها، وفي هذه الحالة يُمكنها الاحتفاظ بها طالَما شاءت. ويُمكنكِ رؤية تلك الجسيمات وهي تتجوَّل في الخارج. فأي جسيم يحتاج إلى وجود كتلة له، لا بد له من امتلاك طاقة تكفل وجوده من الأساس.»

أشارت إلى لافتة أخرى داخل إطار على الحائط مكتوب فيها:

الكتلة هي طاقة.
والطاقة هي كتلة.

أضافت قائلة: «فإذا أراد جسيم أن تُصبح له كتلة فمن الضروري له العثور على طاقة تدعم هذا بطريقةٍ ما. وإذا كان لديه أي فائض من الطاقة فيمكنه استخدامها في فعل أشياء أخرى. هذا ولا تهتم جميع الجُسَيمات بموضوع الكتلة. فثمة بعضٌ منها جسيمات بوهيمية تتصرف بحرية وبساطة، وليست لها كتلة سكون على الإطلاق. هذه الجسيمات ليست مقيدة الحرية كباقي الجسيمات التي عليها أن تتكفَّل بكتلتها، حتى تستطيع الاستفادة بأقل قدر من الطاقة؛ والفوتون خير مثال على هذا. فالفوتون ليست له كتلة سكون، ولهذا فإن الفوتون في حالة السكون لا يكون له وزن له على الإطلاق. ولعلِّي ألفت انتباهك إلى أننا لا نجد الفوتونات في حالة سكون في المعتاد؛ فهي دائمة الاندفاع في كل مكان بسرعة الضوء؛ إذ إن الضوء يتكوَّن في الأساس من فوتونات. والضوء ليس تيارًا متدفِّقًا سلسًا ومستمرًّا. فهو يتكون من عدد كبير من «الكوانتا» أو الكمَّات؛ وهي تشبه حزمًا صغيرة من الطاقة، ولهذا يكون تدفُّق الضوء وعرًا ومليئًا بالنتوءات. ويُطلَق على هذه الكَمَّات، أو جسيمات الضوء هذه، الفوتونات. فعمليًّا كل شيء يأتي في صورة كَمَّات بأحجام مختلفة. وهذا هو مصدر تسمية ميكانيكا الكَم، لو تَعرفين. انظري إلى كل تلك الفوتونات التي تُغادِر البنك الآن. الفوتونات كلها مُتماثِلة في الأساس؛ فهي يُشبه

بعضها بعضًا تمامًا مثلما تشبه جميع الإلكترونات بعضها بعضًا، لكنَّكِ قد تلاحظين أن كثيرًا من هذه الفوتونات تبدو مُختلفة كثيرًا، وهذا يَرجع إلى اختلاف كمياتها من الطاقة. فيوجد لدى بعضٍ منها كمياتٌ قليلة جدًّا من الطاقة، مثل فوتونات التردُّد اللاسلكي التي تخرج من البنك الآن.»

نظرت أليس إلى الأسفل نحو حشد من الفوتونات التي كانت تندفع عبرها، إذ كانت تتدفق حول قدميها ثم تخرج من الباب. وفي أثناء ذهابها تسمع أصوات موسيقى متقطعة ومثيرة وبعضها يقول: «نتناول الغذاء معًا يوم الخميس.» قالت أليس معترفة: «لم أكن أعلم أن الموجات اللاسلكية مكونة من فوتونات.» ابتسمت مرافقتها وقالت: «أجل، إنها كذلك بالفعل. فهي في الواقع فوتونات موجتها طويلة للغاية، وتردُّدها منخفض وطاقتها ضئيلة جدًّا. إنها اجتماعية للغاية، فحتى يكون لها تأثير ملحوظ لا بد من وجود عدد كبير منها في المرة الواحدة. يا لها من جسيمات صغيرة ودودة، أليس كذلك؟ أما الفوتونات المرئية الآن، تلك التي يتكون منها الضوء الذي يستخدمه الناس لرؤية الأشياء، فتردُّدها أعلى وطاقتها أكبر، ويمكن للواحد من هؤلاء أن يكون له تأثير ملحوظ. على الرغم من ذلك فإن أكثرها بذخًا بحق؛ أكبر المنفقين، هي فوتونات أشعة إكس وجاما. فيحمل كل واحد من هؤلاء الكثير من الطاقة من حوله ويمكنها بالفعل أن تجعل تأثيرها محسوسًا على ما يحيط بها إذا ما اختارت أن تتفاعل.»

قالت أليس دون أن يكون في كلامها مجاملة على خلاف الحقيقة: «هذا بالتأكيد مثير للغاية، لكني ما زلت أشعر ببعض الارتباك بشأن فكرة الطاقة بأكملها، هل يمكنكِ أن تخبريني ما هي الطاقة تحديدًا؟»

ردَّت المديرة بارتياح: «حسنًا، هذا سؤال منطقي للغاية، ومع الأسف فإن إجابتَه ليست سهلةً على الإطلاق. ادخلي إلى مكتبي وسأحاول أن أشرح لك.»

أرشدت المديرة أليس برشاقة عبر القاعة الرئيسية ذات الأرضية القرميدية، ومرورًا ببابٍ خفيٍّ ولكنه منيع إلى حدٍّ ما في أحد الأركان. حين دخلت رأت غرفة مكتب حديثة وضخمة. أومأت لأليس أن تجلس على كرسي مريح أمام مكتب عريض، دارت المديرة من حوله ثم جلست على الكرسي خلفه.

بدأت الحديث: «حسنًا، الطاقة أشبه إلى حدٍّ ما بالمال في عالَمك، وليس من السهل وصف المال وصفًا دقيقًا أيضًا.»

أجابت أليس: «أعتقد على الأغلب أن هذا سهل؛ فالمال هو إما عملات معدنية، مثل مصروفي، أو من الممكن أن يكون أوراقًا نقدية.»

«هذه هي النقود، وهي في الواقع أحد أنواع المال، لكن المال لا يكون بالضرورة في صورة عملات معدنية أو أوراق نقدية فقط؛ فمن الممكن أن يكون في صورة حسابات ادخار مثلًا، أو في صورة أوراق مالية وأسهم، أو يُمكِن استثماره في عقار. على النحو نفسه تقريبًا يُمكن للطاقة أن تتَّخذ أشكالًا عديدة، قد تبدو مختلفة إلى حدٍّ ما بعضها عن بعض.»

ثم قالت المديرة، وهي تَعتدل في جلستها لتجلس براحة أكبر في مقعدها، وأصبحت نبرة صوتها أشبه بنبرة من يوشك على إعطاء محاضرة طويلة لمستمعةٍ مصغية بانتباه: «إنَّ أوضح هذه الأشكال هو الطاقة الحركية. فيوجد لدى أي جسيم أو أي جسم آخر من هذا النوع طاقة حركية إن كان في حالة حركة. فكما تعلمين أن الطاقة الحركية تعني وجود حركة ... وثمة أشكال أخرى من الطاقة أيضًا؛ فلدينا طاقة الوضع مثل طاقة الجاذبية التي يكتسبها الحجر إن كان أعلى تلٍّ وفي وضعيةٍ تَسمح له بالتدحرج إلى أسفل. توجد أيضًا الطاقة الكهربائية أو الطاقة الكيميائية، وهي طاقة وضع تُوجد لدى الإلكترونات عندما تكون داخل الذرات. ثم توجد، كما ذكرتُ من قبل طاقة كتلة السكون، وهي لا بد من وجودها لدى كثيرٍ من الجسيمات حتى يكون لها وجود، وحتى تكون لها بعض الكتلة. كذلك يُمكن تحوُّل الطاقة من صورة لأخرى، بالضبط كما يُمكنك وضع أموالٍ نقدًا في حساب الإيداع. ويُمكنني توضيح ما أعنيه لكِ إن نظرتِ فقط عبر هذه النافذة المستديرة.» انحنت للأمام وضغطت زرًّا على مكتبها، ففُتحت النافذة المستديرة في الحائط أمام أليس. استطاعت أليس أن ترى من خلالها لعبةَ الأفعوانية كتلك التي تُوجد في مدينة الملاهي. وبينما كانت تنظر رأت عربةً تصعد إلى قمة أحد المنحنيات الصاعدة وتوقَّفت هناك للحظة قبل أن تَندفِع إلى أسفل المنحنى على الجانب الآخر.

> توجد صور عدَّة للطاقة. فمن الممكن أن تأتي في صورة طاقة كتلة السكون للجسيم، وفي صورة الطاقة الحركية المسئولة عن حركة أي جسم، وكذلك في شكل الصور المتنوِّعة لطاقة الوضع. وإحدى صور طاقة الوضع هي طاقة الوضع الجذبية للجسم والتي تقل مع سقوطه.

«هذه العربة، كما ترَين، لا تتحرَّك في هذه اللحظة، ولذلك ليس لها طاقة حركية، ولكنها تقف في مكانٍ مرتفع، ولهذا تتمتَّع بطاقة وضع بسبب موضعها. والآن حين بدأت في السقوط على المنحدر فقدت ارتفاعها، ولهذا فقدت قدرًا من طاقة الوضع الخاصة بها.

وهكذا فإن هذه الطاقة تتحول إلى طاقة حركية، ولهذا مع استمرار سقوطها تتحرَّك أسرع فأسرع.» استطاعت أليس سماع صرخات الحماس الخافتة القادمة من الركَّاب البعيدين في العربة بينما انطلقت العربة إلى أسفل المضمار.

واصلت المتحدِّثة محاضرتها بحيادية: «إذا كان المضمار أملس للغاية والعجلات تسير عليه دون احتكاك، فإن العربة ستعود إلى حالة السكون مرةً أخرى عند الارتفاع نفسه.» انحنت مجددًا وعبثت بأصابعها في شيء ما على مكتبها مرةً أخرى. أما الأشكال البعيدة التي كانت تستقل الأفعوانية فقد صرخت من المفاجأة حين ارتفع المنحدر التالي الذي كان عليهم صعودُه إلى ارتفاع شاهق أمامهم. أبطأت عربتهم ثم توقَّفَت بالكامل قبل أن تبلغ القمة. هتفت أليس في تعجب: «كيف استطعتِ فعل هذا؟» غمغمت مرافقتها وقالت: «لا تستهيني أبدًا بقدرة البنك على التأثير، والآن انظري لما يحدث.»

بدأت العربة تتراجَع إلى الوراء على المضمار، وصحِب هذا صرخات أكثر ما زالت تظهر عليها الحماسة لكن لا يظهر عليها المرح كالمرة السابقة. ظلت تكتسب سرعةً مع هبوطها حتى عبرت سريعًا أكثر نقطة مُنخفضة في المنحنى، ومنها بدأت في تسلُّق المنحدر المقابل، وظلت سرعتها تقلُّ مع تقدُّمها. وصلت إلى نقطة سكون بالضبط عند النقطة التي رأتْها فيها أليس في أول مرة، ثم بدأت في الانزلاق للأسفل مرةً أخرى.

«سيستمرُّ هذا إلى الأبد الآن مع تحوُّل طاقة العربة من طاقة وضع إلى طاقة حركية والعكس صحيح، لكنكِ أدركتِ الفكرة.» ضغطت المديرة زرًّا آخر على مكتبها فأغلقت النافذة المُستديرة واختفى المشهد.

«هذا هو أوضح مثال لطريقة رؤية الطاقة في العالم الكلاسيكي. فهي تتحوَّل من صورةٍ لأخرى بأسلوبٍ سلس ومُستمر. فقد رأيتِ كيف ازدادت سرعة العربة باطراد وهي تنزلق بسرعة على المنحدر، مع عدم وجود قفزات كبيرة، ولا توجد أي قيود على مقدار الطاقة التي يمكن للجسم اكتسابها. إلا أن الأمور لا تسير على هذا النحو دائمًا هنا في بلاد الكَم. ففي كثير من الأحيان يُسمح للجسيم بالحصول فقط على مجموعة واحدة من القيم المحددة ولا يُمكنه قبول الطاقة أو منحها إلا في شكل كتل كبيرة، نطلق عليها اسم «كُموم». ففي العالم الكلاسيكي يحدث تسديد الطاقة وفق نظام دفع بالتقسيط، بتقديم دفعات متكررة ومتناهية الصغر؛ أما هنا فدائمًا يكون لزامًا عليهم التسديد في دفعة إجمالية واحدة.»

«فالطاقة الحركية، كما رأيتِ، هي نوع مُثير من الطاقة ومحب للاستعراض؛ فهي شيء يوجد لدى الجسم لمجرَّد تحرُّكه. فكلما زاد حجم الجسم، زادت طاقته الحركية،

وكلما زادت سرعة تحرُّكه، زادت طاقته الحركية، لكن مقدار هذه الطاقة لا يعتمد مطلقًا على اتجاه هذه الحركة، وإنما فقط على السرعة. وفي هذا الصدد هي تَختلف عن مقدار آخر مهم يُخبرنا عن طريقة تحرك الجسيم؛ ونُطلِق على هذا «زخم الحركة». وزخم الحركة هذا هو نوع من أنواع المقاييس لعناد الجسيم. فكل جسيم يكون عازمًا على الاستمرار في التحرُّك تمامًا بالطريقة التي كان يتحرَّك بها من قبل، دون أي تغيير على الإطلاق. فإن كان ثمة شيء يتحرَّك بسرعة كبيرة فإن عملية إبطائه تتطلب قوة كبيرة. كذلك يتطلَّب إجباره على تحويل مسار تحرُّكه قوة هائلة، حتى إن لم تتغيَّر سرعته. إن أي تغيير في اتجاه الجسيم لا يتسبب في فقدانه لأي قدر من طاقته الحركية الغالية، إذ تعتمِد هذه الطاقة فقط على سرعة تحرُّكه، ولكنه يظلُّ غير راغب في تغيير اتجاهه وهذا لأن زخمه لا بد أن يتغيَّر. وتكون الجسيمات شديدة التحفظ في هذا الشأن إلى حدٍّ كبير.

في نظرية الكَم لا تقل أهمية دراسة الطاقة وزخم الحركة عن أهمية دراسة الموضع والزمن. بل في الواقع ربما يكون هذا أكثر أهمية؛ إذ يكون من الأسهل قياس طاقة ذرة من تحديد مكان وجودها. الطاقة تشبه المال إلى حدٍّ ما في عالَمنا المادي. وتُعريف الطاقة كلاسيكيًّا على أنها «القدرة على بذل شغل»، ومن الضروري للجسيمات أن تَمتلِك طاقة كي تستطيع فعل شيء ما؛ حتى تتحوَّل مثلًا من حالة إلى أخرى. أما زخم الحركة فهو كمية تشبه السرعة إلى حدٍّ كبير. ولكن الزخم كمية متجهة ترتبط بسير الجسم في اتجاه معيَّن بينما تكون للطاقة كميةٌ فحسب. فحين تقول كمية الطاقة الموجودة، لا يتبقى شيء آخر لتقوله عنها. فالإلكترونات التي تتحرَّك من اليمين إلى اليسار ومن اليسار إلى اليمين بالسرعة نفسها، تكون طاقاتها الحركية واحدة، لكن لها زخم عكسي.

واصلت المديرة حديثها في حماس فقالت: «تَنحصِر القضية كلها فيما نطلق عليه المعاملات. فعندما تريدين وصفَ جسيم ما عليكِ أن تستخدمي المعاملات الصحيحة. فعلى سبيل المثال، إذا أردتِ تحديد مكانه، فعليكِ الحديث عن موضعه وزمنه.»

اعترضت أليس قائلة: «كنت أعتقد أن عليك فقط أن تحدِّدي مكانه، فذلك سيخبرك بموضعه، أليس كذلك؟»

«لا، بالطبع لا. فعليكِ تحديد الزمن بالإضافة إلى موضعه. فإذا أردتِ معرفة مكان شيء ما الآن أو أين سيكون في الغد، فمن غير المفيد أبدًا أن أخبرك فقط بمكانه إذا كان في المكان نفسه الذي كان فيه الأسبوع الماضي. فيجب عليك معرفة الموضع والزمن؛ إذ إن الأشياء تميل إلى التحرك في كل مكان كما تعرفين. فهذا كما لو أنك تريدين معرفة ما

الذي يفعله الجسيم، ولهذا عليكِ وصف هذا من حيث زخمه وطاقته؛ فبشكلٍ عام عليكِ تحديد كلٍّ من زمن الجسيم وموضعه إن أردتِ معرفة موقعه.»

> توجد صور عديدة للطاقة؛ تنتج الطاقة الحركية مباشرةً من وجود حركة. فقذيفة المدفع متحرِّكةً لديها طاقة لا توجد لدى القذيفة الساكنة. وثمة شكل آخر من أشكال الطاقة وهو طاقة كتلة السكون. وتكون طاقة كتلة السكون لأي جسم كبيرة للغاية. ففي ميكانيكا نيوتن لم يكن يوجد داعٍ لأخذ طاقة كتلة السكون في الاعتبار، وهذا لأنها لا تتغيَّر أبدًا، ولهذا لم تكن تؤثر في أي تحول للطاقة. أما في العمليات الكمية، فتتغير كتل الجسيمات طوال الوقت، والتغير في طاقة كتلة السكون من الممكن تحوله إلى أي من صور الطاقة الأخرى. على سبيل المثال، يتم إطلاق أقل من ١ في المائة من طاقة كتلة السكون لجزء صغير من المادة في السلاح النووي. إن هذا لا يمثل تغيرًا كبيرًا في الطاقة بالنسبة لجسيم واحد مقارنة بالعديد من العمليات الأخرى التي أجريت عليها الأبحاث في فيزياء الجسيمات، ولكنها تكون مُدمرة عند إطلاقها من عدد كبير من الجسيمات في حياتنا اليومية.

«هنا في بلاد الكَم توجد علاقة ترابط بين المعاملات. فإذا حاولتِ رؤية مكان وجود شيء ما، فإن هذا يُؤثِّر في زخَمِه، وفي مدى السرعة التي يتحرَّك بها. إن هذه صورة أخرى لعلاقة هايزنبرج التي أوضحتُها لكِ في البنك.»

صاحت أليس مُسترجعةً مشهدًا سابقًا: «آه، هل لهذا السبب لم يستطع الإلكترون الذي رأيته في وقت مبكِّر الوقوف ثابتًا حتى أتمكَّن من رؤيته دون أن يُصبح ضبابيًّا ومبهمَ المعالم؟»

«أجل، بلا شك. فالعلاقات غير المؤكَّدة تُؤثر في جميع الجسيمات بتلك الطريقة. فتبدو دائمًا غير محدَّدة المعالم، ولا يُمكنك أبدًا تثبيتها بدقة تامة.»

هتفَت المديرة: «أعرف ما سأفعله! سأجعل محاسبَ عدم اليقين يشرح لك. فإن وظيفته تقتضي فحص الحسابات وموازنتها، ولهذا فإنَّ شغله الشاغل دائمًا هو التذبذبات الكَميَّة أو الكمومية.» مدَّت أحد أصابعها الجميلة وضغطت على زرٍّ آخر من الأزرار التي كان مكتبها عامرًا بها.

ساد الصمت برهةً ثم انفتح أحد الأبواب المنتشرة على مسافات متباعِدة في أنحاء الغرفة ودخل شخصٌ ما. كان يبدو إلى حدٍّ ما مثل صورة إبنيزر سكروج من نسخةٍ مصورة لرواية «ترنيمة عيد الميلاد»، عدا أنه بدا على وجهه تعبيرٌ من الذهول إلى حدٍّ ما ورعشةٌ عصبية يصعب السيطرة عليها. كان يحمل دفتر حسابات ضخمًا أغلفتُه منتفخة، بالإضافة إلى أنها كانت تتلوى كما لو أن محتوياتها في حركة مستمرة.

قال منتصرًا وهو يرتعش بشدة بالغة حتى كاد يُسقط الدفتر: «أعتقد أنني فعلتُها. لقد رصدتُ الحسابات!» ثم أضاف قائلًا بحماسٍ أقل: «هذا بالطبع بصرف النظر عن التذبذبات الكَميَّة المتبقية.»

أجابته المديرة وهي شاردة الذهن: «عظيم جدًّا. والآن، أريد منك أن تأخذ هذه الفتاة الصغيرة، أليس، وتشرح لها عدم اليقين والتذبذبات الكَميَّة في طاقة أي نظام وكل الأشياء من هذا القبيل.» عقب توديع أليس استدارت المديرة نحو مكتبها وانهمكت في فعل شيء ما معقَّدٍ بدرجة كبيرة مستعينةً بكل الأزرار عليه. أرشد المحاسب أليس إلى الخارج سريعًا قبل أن يحدث أي شيء آخر.

من المنطقي أن نتحدث عن علاقة عدم اليقين لهايزنبرج عند وصف المزج الغريب بين الطاقة والزمن وبين الموضع وزخم الحركة الموجودة في النُّظم الكَميَّة. والخطير في مثل هذا الوصف أنه يُعزِّز الاعتقاد في أن الطبيعة — في أساسها — لا يقينية تمامًا؛ إذ لا يمكن التنبؤ بشيء ما يقينًا، وفي الحقيقة أن كل شيء قابل للحدوث. فهذا ليس صحيحًا!

وصَلا إلى حجرة مكتب أصغر حجمًا وأكثر فوضى، تَحتوي على مكتب مرتفع وقديم الطراز ومُغطًّى بدفاتر الحسابات، وقصاصات أوراق مكدَّسة في كل مكان على الأرض. نظرت أليس في واحد من الدفاتر المفتوحة. كانت الصفحة مليئة بأعمدة من الأرقام، تبدو تمامًا مثل دفاتر الحسابات الأخرى التي سبق ورأتها، فيما عدا أن الأرقام في هذا الدفتر كانت تتغير باستمرار على نحو طفيف كلما نظرَت إليها.

قال الرجل ذو المظهر الفيكتوري الواقف أمام أليس: «حسنًا! أنتِ ترغبين في معرفة معلومات عن عدم اليقين، أليس كذلك أيتها السيدة الصغيرة؟»

ردَّت أليس في أدب: «بلى، من فضلك، إنْ لم يسبب لك هذا إزعاجًا!»

بدأ حديثه وقد جلس أمام مكتبه: «حسنًا، الآن.» وقد ضم أطراف أصابعه معًا بالطريقة الوقورة المعتادة كي يَمنح مظهره مهابة أكبر. إلا أن هذه لم تكن فكرة جيدة؛ لأنه سرعان ما أصيب برعشة عصبية عنيفة، إذ تشابكت جميع أصابعه وكان عليه أن يتوقَّف ويَفصلَ بعضها عن بعض.

كرَّر ما قاله، وقد دس يديه بعمق في جيوبه لأجل السلامة: «حسنًا، الآن؛ إنَّ الشيء الذي يجب عليك تذكُّره بشأن الطاقة أنها محفوظة؛ وهذا يعني أن مقدار الطاقة الموجود

هو نفسه طوال الوقت. فمن الممكن لها أن تتحول من صورة إلى أخرى، إلا أن كميتها الكلية لا تتغير أبدًا، على الأقل، هذا إن نظرتِ بمنظور بعيد المدى.» قال هذا في حزن وتنهد، وحدق في حسرة إلى الأفق البعيد.

سألته أليس التي رأت أن عليها أن تقول شيئًا ما حتى تظل المحادثة مستمرة: «ألا ينطبق هذا على الفترات القصيرة؟»

«حسنًا، لا، ليس تمامًا. ففي الحقيقة، هذا لا يحدث على الإطلاق إذا كانت الفترة قصيرة بدرجة كبيرة. لقد رأيتِ علاقة هايزنبرج في اللافتة الموجودة خارج البنك، أليس كذلك؟»

«أجل، بالفعل، وقد قيل لي إنها تخص شروط قروض الطاقة.»

«أجل، هي كذلك بطريقةٍ ما، لكن من أين تظنِّين أن قروض الطاقة تأتي؟»

«من البنك بكل تأكيد.»

قال المحاسب وقد بدا عليه بعض الرعب: «يا إلهي، لا! بكل تأكيد لا! فسيكون أمرًا لطيفًا إن بدأ البنك في إقراض الطاقة من مخزونه الخاص.»

واصل حديثه وهو متوجس، ويتلفَّت حوله في حرص: «لا، على الرغم من أنه ليس أمرًا معروفًا على نطاق واسع، فإن الطاقة لا تأتي من البنك. في الواقع، هي لا تأتي فعليًّا من أي مكان. إنها تذبذبات كَميَّة؛ فكمية الطاقة الموجودة في أي نظام محدد لا تكون واضحة بالكامل، بل تتفاوت صعودًا وهبوطًا؛ وكلما قصر الوقت الذي نقيسها فيه، زاد احتمال تفاوتها.

وفي هذا الصدد لا تُشبه الطاقة المال على الإطلاق. فالمال يمكن الاحتفاظ به جيدًا في فترات زمنية قصيرة. فإذا أردتِ الحصول على المال لغرض ما، عليك أخذه من مكان ما، أليس كذلك؟ فيمكنك سحبه من حساب بنكي، أو اقتراضه من شخص ما، أو ربما يمكنك حتى سرقته!»

صاحت أليس في سخط: «ما كانت لأفعل هذا.» لكن المحاسب واصل حديثه وتجاهَلَها.

«لا يهم من أين تحصلين عليه، فلا بد للمال أن يأتي من مكان ما. وإذا حصلتِ على المزيد منه، فإنه يقل عند شخص آخر. فهذا ما يحدث على المدى القصير على أي حال.»

«أما في الفترات الزمنية الطويلة فالوضع يكون مختلفًا، قد يحدث تضخم وتجدين المزيد والمزيد من المال من حولك. فيوجد الكثير من المال مع الجميع، لكن لا يبدو أنه يشتري القدر نفسه من الأشياء التي كان يشتريها في السابق. أما الطاقة فهي إلى حدٍّ

ما عكس هذا كله. فهي تكون محفوظة على المدى الطويل؛ فتبقى كميتها الإجمالية كما هي، ولا يمكن حدوث أي شيء مثل التضخُّم الاقتصادي. وفي كل عام تحتاجين إلى القدر نفسه من الطاقة في المتوسط من أجل التحويل من حالة إلى حالة أخرى داخل الذرة. أما على المدى القصير فلا يُمكن الحفاظ على الطاقة جيدًا. ويستطيع الجُسيم التقاط الطاقة التي يحتاجها دون الحاجة إلى أن تأتيَ من أي مكان آخر؛ فهي تظهر فحسب في صورة تذبذبات كَميَّة. وتنتج هذه التذبذبات عن علاقة عدم اليقين؛ فكمية الطاقة التي تَمتلكينها غير مؤكَّدة، وكلما قصر وقت امتلاك هذه الطاقة، زاد عدم التأكد من كميتها.»

قالت أليس: «هذا يبدو مربكًا للغاية.»

ردَّ مرافقها بحسم: «لستِ في حاجة إلى أن تُخبريني! فأنا أعرف أنه كذلك، فكيف للمرء أن يعمل محاسبًا بينما تتغيَّر الأرقام التي يُحاول موازنتها طوال الوقت؟»

قالت أليس في تعاطف: «هذا يبدو رهيبًا. كيف تستطيع التعامل مع هذا؟»

واصل حديثه في جدية: «حسنًا، أحاول عادة أن أستغرق أطول وقت ممكن في إجراء الحسابات؛ فهذا يساعد قليلًا. فكما ترين كلما طالت الفترة الزمنية التي أقضيها، قلت التذبذبات الكَميَّة المتبقية. ولسوء الحظ ينفد صبر الناس ويأتون ليسألوني إن كنت أعتزم العمل إلى الأبد في موازنة الحسابات. فكما ترين هذه هي الطريقة الوحيدة لإنجاز هذا العمل.» ثم صاح في انتصار: «كلما استغرقت وقتًا أطول، قلت تذبذبات الطاقة، ولهذا إن استغرقت إلى الأبد في أداء الحسابات، فستختفي التذبذبات في الطاقة وستتوازن حساباتي تمامًا. إنما لسوء الحظ هم لا يتركونني بمفردي أبدًا. فالجميع على قدر كبير من عدم الصبر والقلق حتى إنهم لا يتوقَّفون عن التحول من حالة إلى أخرى طوال الوقت.»

يُمكن تحويل الطاقة من صورة إلى أخرى، لكن الطاقة الكلية للنظام تبقى ثابتة (ما دام لا يحدث انتقال للطاقة من محيطه أو إليه). يحدث هذا بالتأكيد في الميكانيكا الكلاسيكية. ويحدث أيضًا في النظم الكَميَّة على المدى الطويل، لكن على المدى القصير فقيمة الطاقة تتعرَّض لتذبذبات. وكلمة «تذبذبات» أفضل من كلمة «عدم اليقين»، نظرًا لوجود تبعات فيزيائية فعلية. ويتمثل أحد هذه التداعيات في اختراق الحاجز خلال انحلال ألفا للنوى؛ وسنتعرَّض لانحلال ألفا في الفصل الثامن، وقد تعرَّضنا بالفعل لاختراق الحاجز في الفصل الأول.

تذكرت أليس فقالت: «هذا شيء آخر أردتُ سؤالك عنه. ما كل هذه الحالات التي أسمع عنها باستمرار طوال الوقت؟ هل يُمكنك أن تشرحها لي من فضلك؟»

«في الحقيقة أنا لست أفضل شخص لأداء هذه المهمة؛ فهذا كله جزء من ميكانيكا الكَم، ولهذا عليكِ الذهاب إلى معهد الميكانيكا وسؤالهم هناك.»

قالت أليس: «هذا ما قيل لي من قبل. فإن كان هذا هو أفضل مكان أسأل فيه، هلا أخبرتني من فضلك كيف يمكنني الذهاب إلى هناك؟»

«أخشى أني لا أستطيع فعليًّا إخبارك بكيفية الذهاب إلى هناك. فهذه ليست الطريقة المتبَعة هنا. لكن يمكنني ترتيب الأمور لكِ بحيث يزيد احتمال وصولك إلى هناك.»

توجَّه إلى الحائط البعيد من حجرة مكتبه والذي كان مغطًّى بستارة مكسوة بالتراب. عندما أزاحها جانبًا بحركة عصبية مفاجئة، استطاعت أليس رؤية صفٍّ من الأبواب المتباعدة على طول الحائط. سألت أليس: «إلى أين يؤدِّي كلٌّ من هذه الأبواب؟ هل يؤدِّي أحدها إلى هذا المعهد الذي كنت تتحدَّث عنه؟»

«يمكن لكل واحد منها أن يأخذك إلى أي مكان تقريبًا، بما في ذلك، بالطبع، إلى المعهد. لكن الفكرة في أن جميعها من المحتمَل جدًّا أن يقودَك إلى باب المعهد.»

قالت أليس في تذمُّر، وقد تملَّكها الشعور المعتاد بالتشوش المتزايد: «أنا لا أفهم؛ ما الفارق بينها؟ فإن كان كل واحد منها من الممكن أن يأخذني إلى أيِّ مكان تقريبًا، فإن هذا بالضبط كأن تقول إن جميعها يمكن أن تأخذني إلى أي مكان تقريبًا.»

«لا، على الإطلاق، فهذا أمر مختلف كليًّا. فإن دخلتِ عبر أي باب منها، فالأكيد أنك على الأرجح ستذهبين إلى أي مكان تقريبًا، ولكن إن دخلتِ عبرها جميعًا في ذات الوقت فإن الاحتمال الأغلب أنك ستذهَبين إلى حيث تريدين، في ذروة نمط التداخل.»

صاحت أليس: «يا له من كلام غير منطقي! فمن غير المحتمَل أن أتمكَّن من الدخول عبر كل الأبواب في الوقت نفسه، فكما ترى لا يُمكن للمرء إلا الدخول عبر باب واحد في المرة الواحدة.»

«آه، ولكن هذا أمر مختلف! فبكل تأكيد، إذا رأيتكِ تمرِّين عبر أحد الأبواب، فأنت لن تمرِّي إلا عبر هذا الباب وليس عبر أي باب غيره، ولكن إذا لم أرَكِ، فمن الممكن تمامًا لكِ المرور عبر أي باب. وفي هذه الحالة سينطبق عليكِ القانون العام.»

لوَّح بيده وأشار إلى لافتة كبيرة بارزة، كانت مثبَّتة على الحائط أمام مكتبه، حيث لا يستطيع تجنُّب رؤيتها، مكتوب فيها:

ما ليس ممنوعًا، يكون إلزاميًّا!

«هذه واحدة من أكثر القواعد الأساسية الموجودة هنا، فإن كان من الممكن فعل العديد من الأشياء، فلا ينبغي للمرء فعل شيء واحد فقط منها، بل يجب عليه فعلها جميعًا. بهذه الطريقة يرفع هذا عنكِ عبء اتخاذ قرارات في كثير من الأحيان. والآن عليكِ أن تذهبي، فما عليكِ إلا المرور عبر جميع هذه الأبواب، وعندما تفعلين هذا، عليكِ الانطلاق في جميع الاتجاهات في وقتٍ واحد. سوف تَجدين أن الأمر بالغ السهولة وسرعان ما ستصلين إلى المكان الصحيح.»

قالت أليس في احتجاج: «هذا أمرٌ سخيف! فلا سبيل أبدًا لأن أتمكَّن من المرور عبر العديد من الأبواب في ذات اللحظة!»

«كيف يُمكنكِ أن تقولي هذا وأنت لم تُحاولي حتى الآن؟ ألم تفعلي قط شيئين معًا في الوقت نفسه؟»

أجابت أليس: «حسنًا، بالطبع قد فعلت. فقد كنت أشاهد التليفزيون وأنا أحلُّ واجبي المدرسي؛ لكن هذا ليس الشيء نفسه على الإطلاق. فأنا لم يسبق لي أن ذهبتُ في اتجاهين في وقت واحد.»

ردَّ عليها المحاسب بنوعٍ من السخط: «أقترح إذن أن تجرِّبي هذا. فأنتِ لن تعرفي أبدًا إن كان في إمكانك فعل شيء ما، حتى تجربيه. فهذا تمامًا هو نوع التفكير السلبي الذي يعوق دائمًا إحراز أي تقدُّم. فإذا أردتِ الذهاب إلى أي مكان فعليكِ بفعل كل ما في وسعك وعليكِ بفعل كل هذا في وقت واحد. فعليكِ ألا تقلقي بخصوص المكان الذي ستذهبين إليه، فالتداخل سيهتم بهذا!»

صاحت أليس: «ماذا تقصد؟ وما هو التداخل؟»

«لا يوجد وقتٌ للشرح؛ فالميكانيكا ستخبركِ بكل شيء عن هذا. والآن اذهبي وسيتكفَّلُون هم بالشرح لكِ عندما تصلين.»

فكرت أليس في نفسها: «هذا سيئ جدًّا! فكل شخص أتحدَّث معه يُحيلني إلى مكانٍ آخر ويعدُني بأني سأجد تفسيرًا بمجرد وصولي إلى هناك. أتمنى فقط أن يشرح لي شخصٌ ما الأمور كما ينبغي، مرةً واحدة ونهائيًّا! فمن المؤكَّد أني لا أعرف كيف يُمكنني

الذهاب في العديد من الطرق في الوقت نفسه. فالأمر يبدو لي مستحيلًا تمامًا، لكنه بدا متأكدًا جدًّا من أنه يمكنني فعل هذا هنا؛ لذلك فالأحرى بي أن أحاول، على ما أعتقد.»

فتحت أليس بابًا ودخلت فيه.

مسارات أليس الكثيرة

دخلت أليس عبر الباب جهة اليسار ووجدَت نفسها في ميدانٍ صغير مرصوف بالحصى، وبه ثلاثة أزقة ضيقة تقود إلى خارجه. سارت في الزقاق جهة اليسار، وقبل أن تَبتعدَ كثيرًا وجدت نفسها على أطراف مساحة واسعة ممهَّدة، في منتصفها رأت مبنًى طويلًا معتمًا، بلا نوافذ في أدواره السُّفلى، وبدا منيعًا للغاية.

دخلت أليس عبر الباب جهة اليسار، ووجدت نفسها في ميدان صغير مرصوف بالحصى، به ثلاثة أزقَّة ضيقة تقود إلى خارجه. فسارت في الزقاق جهة اليمين، وقبل أن تبتعد كثيرًا وصلت إلى حديقة، بها ممرات من الحصى مترعة بالأعشاب تمتد عبر أشجار متدلية موحشة. كانت الحديقة محاطة بدرابزين حديدي مرتفع والمشهد كله كان يغشاه ضباب بارد.

دخلت أليس عبر الباب جهة اليسار، ووجدت نفسها في ميدان صغير مرصوف بالحصى به ثلاثة أزقَّة ضيِّقة تقود إلى خارجه. سارت في الممر الأوسط، وقبل أن تبتعد كثيرًا وصلت إلى ميدان آخر صغير أمام مبنًى يبدو باليًا.

دخلت أليس عبر الباب جهة اليمين ووجدت نفسها في ممرٍّ ضيق، يتفرَّع منه ممران آخران، سارت في الممرِّ جهة اليسار. وقبل أن تبتعد كثيرًا وجدت نفسها على أطراف مساحة واسعة ممهَّدة، في منتصفها رأت مبنًى طويلًا معتمًا، بلا نوافذ في أدواره السُّفلى، بدا مرعبًا للغاية، وانتابها شعور واضح بأنه يَنبغي عليها عدم الوجود في هذا المكان.

دخلَت أليس عبر الباب جهة اليمين ووجدت نفسها في ممرٍّ ضيق، يتفرع منه ممران آخران. سارت في الممر جهة اليمين، وقبل أن تَبتعِد كثيرًا وصلت إلى حديقة، لها ممرَّات من الحصى مُترعة بالأعشاب تمتدُّ بين أشجار مُتدلية موحشة. كانت الحديقة محاطة

بدرابزين حديدي مرتفع والمشهد كله كان يَغشاه ضباب بارد. انتابها شعور واضح بأنها يجب ألَّا توجد في هذا المكان.

دخلت أليس عبر الباب جهة اليمين ووجدت نفسها في ممر ضيق، يتفرع منه ممران آخران، دخلت في الممر الأوسط، وقبل أن تَبتعِد كثيرًا وجدت نفسها في ميدان آخر صغير أمام مبنى يبدو باليًا. بدا لها بطريقةٍ ما أن هذا هو المكان الصحيح الذي عليها الوجود فيه.

دخلت أليس عبر الباب الأوسط ووجدت نفسها أمام حائط، به ثلاث بوابات مقوَّسة، تؤدِّي إلى أزقَّة. سارت في الزقاق جهة اليسار، وقبل أن تبتعد كثيرًا وجدت نفسها على أطراف مساحة واسعة ممهدة، في منتصفها رأت مبنًى طويلًا معتمًا، بلا نوافذ في أدواره السفلى، وبدا مرعبًا للغاية. انتابها الآن شعور قوي بأنه يَنبغي عليها عدم الوجود في هذا المكان.

دخلَت أليس عبر الباب الأوسط ووجدت نفسها في مواجهة حائط، به ثلاث بوابات مقوَّسة، تؤدي إلى أزقَّة. لم تدخل في الزقاق الأيمن على الإطلاق؛ إذ بدا لها الدخول في هذا الطريق خطأً تمامًا.

دخلت أليس عبر الباب الأوسط ووجدت نفسها في مواجهة حائط، به ثلاث بوابات مقوَّسة، تؤدِّي إلى أزقَّة. سارت عبر البوابة المؤدِّية إلى الزقاق الأوسط، وقبل أن تَبتعد كثيرًا وصلت إلى ميدان آخر صغير أمام مبنًى يبدو باليًا. باتت متأكِّدة الآن أن هذا هو المكان الصحيح الذي عليها الوجود فيه.

أمعنت أليس النظر أكثر في المبنى، فاستطاعت أن تقرأ على لوحةٍ باهتةٍ عند الباب «معهد الميكانيكا». فهذا هو المكان الذي أرادت الوصول إليه بالفعل!

> الجسيمات التي يُحتمَل أن تتخذ مساراتٍ مختلفة تظهر في صورة تراكب (مجموع) من السعات الكَميَّة. فكل مسار محتمل يمثل سعة كَميَّة، أو اختيارًا، لسلوك الجسيم، وتوجد السعات جميعها معًا. قد يحدث تداخلٌ بين السعات المختلفة، فتندمج معًا، مما يُؤدِّي إلى تراكُبها في بعض المناطق كي تزيد من احتمال العثور على الجسيمات في هذا المكان. أما في أماكن أخرى فقد تلغي بعضها مما يُقلِّل من احتمال العثور على أي جسيمات. وسنُناقش كلًّا من السعات والتداخُل في الفصل التالي.

الفصل الثالث

معهد الميكانيكا

تفحَّصت أليس المبنى أمامها؛ فوجدته بناءً بسيطًا وغير لافت للنظر ومصنوعًا من الطوب، وكان في حالٍ يرثى لها. وجدت أمامها اللوحة التي تشير إلى أن هذا المبنى هو «معهد الميكانيكا». وبجانب هذه اللوحة وجدت بابًا خشبيًّا، علَّق عليه أحدهم بمسمارٍ ملاحظةً كُتِبَ عليها: «لا تطرق الباب، ادخل فقط.» جرَّبت أليس فتح الباب فوجدته غير مغلق لذلك فتحته ودخلت عبره.

في الداخل وجدت نفسها في حجرةٍ واسعة ومُظلِمة، في منتصفها مساحة مضاءة ومُشرقة. وداخل هذه المساحة المحدَّدة كان بإمكانها ملاحظة مجموعة معقولة من التفاصيل. ووراء هذه المساحة كانت توجد مساحة شاسعة من الظلام تبدو بلا حدود، لا يُمكن رؤية أي شيء محدَّد فيها. أما في مساحة الضوء فقد كانت توجد طاولة بلياردو وجسمان يتحرَّكان حولها. سارت أليس نحوهما ومع اقترابها منهما تحوَّلا لينظرا إليها. كانا زوجًا من الغريب اجتماعهما معًا. فأحدهما كان طويلًا وزوايا جسده محدَّدة، ويرتدي قميصًا أبيض منشًّى برقبةٍ طويلة مُتيبسة وربطة عنق رفيعة، وبدلة عمل مثَّلت مفاجأةً إلى حدٍّ ما لأليس. كان وجهه معقوفًا ولديه سوالف كثيفة. تفحَّصها بنظرةٍ محدقة نافذة جعلت أليس تشعر كما لو كانت لديه القدرة على معرفة أدق التفاصيل بوضوح في أي شيء ينظر إليه. أما رفيقه فقد كان أصغر حجمًا وأصغر سنًّا. كان وجهه مُستديرًا ويرتدي عليه نظارة كبيرة مستديرة لها إطار معدني. كان من الصعب رؤية عينيه من خلف النظارة؛ فقد كان من الصعب تحديد إذا ما كان ينظر إليك أم لا، أو حتى تحديد مكان عينيه بالضبط. كان يرتدي معطفَ مختبرٍ أبيض اللون وقد تركه مفتوحًا ليظهر من تحته قميص قطني عليه صورة شيء ما ذرِّي غير واضح المعالم. لم يكن من

السهل تحديد ما الذي كان مقصودًا بهذه الصورة؛ إذ كان من الواضح أن الألوان قد ذهبت مع الغسيل.

سألت أليس، على سبيل فتح حوار في الأغلب، فقد كانت تعرف من اللوحة في الخارج أن هذا هو المعهد بالتأكيد: «عذرًا، هل هذا هو معهد الميكانيكا، من فضلكما؟»

قال الأطول ذو المظهر الأكثر إثارة للإعجاب من بين الاثنين: «أجل، يا عزيزتي، فأنا نفسي ميكانيكي كلاسيكي من العالم الكلاسيكي وأنا أزور زميلي هنا ميكانيكي الكَمْ. فأيًّا كانت مشكلتُك أنا واثق أنه في وجودنا نحن الاثنين سنتمكَّن من مساعدتك، هذا إن انتظرتِ لحظةً حتى ننتهي من تصويباتنا.»

تحوَّل الرجلان إلى طاولة البلياردو. حدَّد الميكانيكي الكلاسيكي هدفه بحرصٍ بالغ، فدرسَ بوضوح جميع الزوايا المتداخِلة في جزء صغير من الدرجة. وفي النهاية سدَّد ضربته بتأنٍّ شديد. وثبَّت الكرة جيئةً وذهابًا في سلسلةٍ من الارتدادات اللافتة، وانتهى بها الحال إلى الاصطدام بالكرة الحمراء ودفعها مباشرةً إلى منتصَف فتحة الهدف. هتفَ في سعادةٍ وهو يسترجع الكرة من الفجوة: «هكذا يكون التصويب. فهذه هي الطريقة المثلى للعب، كما تعلمين؛ الملاحظة الدقيقة والمتأنِّية التي يتبعها تصرُّفٌ دقيق. فإذا اتبعتِ هذه الطريقة في فعل الأشياء، فستحصلين على النتيجة التي ترغبين فيها.»

لم يردَّ رفيقه على الإطلاق، لكنه اتخذ موضعَه على الطاولة ووجَّه ضربةً غير مفهومة عند الإشارة إليه. بعد ما مرَّت به أليس مؤخرًا لم تكن تتفاجأ في الواقع حين اكتشفت أن الكرة اندفعت كالقذيفة في جميع الاتجاهات في الوقت نفسه، بحيث لم يكن ثمة جزء من الطاولة لا يُمكنها الجزم بأن الكرة لم تذهب إليه، على الرغم من أنها في الوقت نفسه لا يمكنها الجزم على الإطلاق بالمكان الفعلي للكرة. بعد لحظةٍ تحرَّك اللاعب نحو إحدى فتحات الأهداف وحدَّق فيها، ثم مدَّ يده فيها وأخرج كرةً حمراء.

قالت أليس: «إذا لم تكن تمانع قولي هذا، لكن يبدو لي أنك تمارس اللعبة بشكلٍ مختلفٍ تمامًا.»

ردَّ الميكانيكي الكلاسيكي: «هذا حقيقي بالفعل، فأنا أكره الطريقة التي يصوِّب بها كراته بهذا الشكل. فأنا أحب إنجاز كل شيء بحرص وإتقان بالغَين، وأن تخضع كل التفاصيل لتخطيط مُسبَق.» ثم أضاف قائلًا: «ومع ذلك، أتصوَّر أنك لم تأتِ إلى هنا لتشاهدينا ونحن نلعب البلياردو، ولذلك فلتُخبرينا بما تريدين معرفته.»

حكت أليس كل ما مرَّت به منذ جاءت إلى بلاد الكَم، وشرحت لهما مدى إصابتها بالتشوش والارتباك من كل هذا، وكيف بدا لها كل شيء غريبًا للغاية وغامضًا. أنهت

حديثها قائلة: «بل إني حتى لا أعرف كيف استطعتُ العثور على هذا المبنى. فقد أخبروني أن التداخُل على الأرجح سيُحضرني إلى المكان الصحيح، لكنِّي لا أفهم ما حدث على الإطلاق.»

بادر الميكانيكي الكلاسيكي بالكلام، وقد بدا أنه قد عيَّن نفسه متحدثًا بالنيابة عنهما هما الاثنين؛ فهمس لها بثقة قائلًا: «حسنًا، الآن، لا يُمكنني القول إني أيضًا أفهم أيًّا من هذا كله. فكما قلت لكِ سابقًا، أنا أحب أن تكون الأشياء واضحةً ومحددة، بحيث يتبع السببُ المسبِّبَ بطريقة منطقية، وأن يكون كل شيء واضحًا ومتوقعًا. وإن أردتِ معرفة الحقيقة، فلا يُمثِّل كثيرٌ مما يحدث هنا أيَّ منطق بالنسبة إليَّ. فأنا مجرد زائر من العالم الكلاسيكي، وهو مكان رائع يحدث فيه كل شيء بدقة ميكانيكية. كذلك يتبع السببُ المسبِّبَ، في أسلوبٍ رائع يُمكن توقُّعه، ولهذا كل شيء فيه له منطق، ويُمكنك معرفة ما سيحدث. والأكثر من هذا، أن جميع القطارات تَنطلِق في مواعيدها.» أضاف هذا كفكرة إضافية.[١]

قالت أليس بأسلوبٍ مهذَّب: «يبدو هذا مثيرًا للإعجاب. إن كانت كل الأمور مرتبةً جيدًا هكذا، فهل يُدار كلُّ شيء باستخدام الكمبيوتر؟»

أجاب الميكانيكي الكلاسيكي: «حسنًا، لا؛ نحن لا نستخدم أجهزة الكمبيوتر على الإطلاق. ففي الواقع الأدوات الإلكترونية لا تعمل في العالم الكلاسيكي. فالوضع لدينا أفضل مع وجود المحرِّكات البخارية. فأنا أشعر بالفعل بالغربة في بلاد الكَم. أما صديقي هنا فهو أكثر ألفةً مني بالظروف الكَميَّة.»

واصل حديثه قائلًا بثقة: «ومع هذا، فأنا أستطيع أن أخبرك عن التداخل؛ فهو يحدث في الميكانيكا الكلاسيكية أيضًا. فقط اتبعيني وسوف أوضح لك طريقة عمله.»

أرشد أليس إلى الخارج عبر باب، وسارا في ممرٍّ قصير، ودخلا في غرفة أخرى، كانت هذه الغرفة جيدة الإضاءة، بها نور ساطع مُتساوي الشدة في كل مكان، ولم يكن واضحَ المصدر. وقَفا على ممرٍّ خشبي ضيق، يحيط بأطراف الحجرة. كانت الأرضية في منتصَف الغرفة مُغطاةً بمادة رمادية برَّاقة، لم يكن يبدو أنها صلبة. وكانت مُغطاةً بالكامل بومضات ضوءٍ عشوائية، بدت أشبه بشكل جهاز التليفزيون، حين لا يستقبل صورة.

شرح لها مرشدها أكثر قائلًا: «هذه غرفة الأفكار، وهي مختصَّة بالتفكير. أنتِ تعرفين أن كثيرًا من نوادي الرجال بها حُجرة للكتابة وحجرة للمطالعة. أما نحن فلدينا غرفة للتفكير. في هذه الغرفة يُمكن لأفكار أي شخص أن تتَّخذ شكلًا ملموسًا، وبذلك

يمكن لأي شخص النظر إليها. ويسمح لنا هذا بإجراء تجارب ذهنية، وتسمح لنا هذه التجارب باستكشاف ما سيحدث في مختلف الأوضاع الفيزيائية، كما أن هذا بالتأكيد أرخص من التجارب الفعلية.»

سألت أليس: «كيف يحدُث هذا؟ هل يكفي أن تفكر فقط في شيءٍ ما حتى يظهر؟»

«هذا حقيقي، ففي الحقيقة هذا كل ما عليكِ فعله.»

سألت أليس: «من فضلك، هل يُمكنني تجربة هذا؟»

«أجل، بالتأكيد، إذا أردتِ.»

فكرت أليس بشدة وهي تنظر إلى السطح المتحوِّل ذي الوميض. وتفاجأت وابتهجت حين رأت أنَّ السطح الذي كان يخلو من الملامح من قبل، قد تحوَّل الآن إلى مجموعة من الأرانب المكسوَّة بالفراء تَقفز في كل مكان.

قال الميكانيكي بنفاد صبر: «حسنًا، هذا رائع للغاية، لكن هذا لا يُساعد في تفسير التداخل.» لوَّح بيده فاختفت كل الأرانب، كلها ما عدا واحدًا صغيرًا، وكان قد بقيَ دون أن يلاحظه أحد في أحد الأركان.

بدأ يتحدَّث بتسلُّط: «إن التداخل شيء يحدث مع الموجات. فقد تشمل النظم الفيزيائية جميع أنواع الموجات، لكن من الأسهل لنا تناول موجات الماء.» حدق بشدة في الأرض التي تحوَّلت أمام عينَي أليس إلى صفحة من الماء بها موجات بسيطة على سطحها. وفي الركن اختفى الأرنب تحت السطح إذ غطس على الفور حين تحوَّلت الأرض من تحته إلى ماء. سرعان ما كافح الماء للخروج مجدَّدًا وحدق فيهما بنظرة ساخطة، ثم هزَّ نفسه، ونظر في حزن إلى فروته المبتلَّة واختفى.

واصل الميكانيكي الكلاسيكي كلامه، دون إبداء أي اهتمام بالأرنب الحزين: «والآن نحن في حاجة إلى بعض الأمواج.» ظلَّت أليس تفكر بلطف وهي تنظر إلى الأرض، ثم جاءت موجةٌ طويلة شديدة التموج تكتسح السطح وانكسرت حتى اختفَت تمامًا على شاطئٍ على أحد الجوانب.

«لا، ليس هذا هو نوع الأمواج التي نريدها. فهذه الأمواج الضخمة المتكسِّرة معقَّدة للغاية، فنحن نحتاج إلى النوع ذي التموُّجات الخفيفة التي تنتشر حينما تُلقين بحجر في الماء.» وبينما كان يتحدَّث انتشرت مجموعة من التموجات الدائرية من وسط الماء إلى الخارج.

«لكنَّنا في حاجة إلى التفكير في نوع الأمواج الذي يُطلق عليه اسم «الموجات المستوية» التي تتحرَّك جميعها في الاتجاه نفسه.» تغيرت الموجات الدائرية إلى سلسلة من تموُّجات

طويلة متوازية، تشبه حقلًا محروثًا مبللًا، تتحرَّك جميعها عبر الأرضية من جانبٍ إلى آخر.

«والآن نضع حاجزًا في المنتصف.» ظهر فجأةً سور صغير في المنتصف، وقسَّم الأرض إلى نصفين. تدفقت الأمواج نحو الحاجز، وكانت تصطدم به وترتدُّ عنه وتتدافع لأعلى وأسفل، لكن لم يكن ثمة سبيل لهما للعبور، وكان الماء من خلف كل هذا ساكنًا وهادئًا.

«والآن علينا بعمل ثقب في هذا الحاجز، حتى تمرَّ الموجات عبره.» ظهرت فجوة صغيرة مُتقَنة جهة اليسار من مركز السور. وحين ارتطمت الموجات بهذه الفجوة الضيقة استطاعَت المرور عبرها والانتشار إلى الخارج في صورة تموُّجات دائرية في داخل المنطقة الهادئة خلف السور.

صاح الميكانيكي: «والآن انظري ماذا يَحدث عندما يكون لدينا فتحتان في الحاجز». وفجأة ظهرَت فجوتان على يمين نقطة المركز ويسارها. انتشرت تموجات دائرية من كلتا هاتين الفجوتين نحو الخارج. وعند تقاطعها استطاعت أليس أن ترى أن الماء كان يندفع صعودًا وهبوطًا في بعض المناطق بشدة أكبر مما كان عليه حين كانت توجد فتحة واحدة فقط، في حين أنه لم يكن بالكاد يتحرك في مناطق أخرى وكانت المياه راكدة في مكانها.

«يمكنكِ رؤية ما يحدث إذا جمَّدنا الحركة، ويمكننا فعل هذا بالتأكيد في تجربة ذهنية.» توقفت كل حركة في الماء وتجمدت أنماط التموجات في مكانها، كما لو أن المنطقة بأكملها قد تحولت إلى جليد.

واصل الميكانيكي الكلاسيكي حديثه في إصرار: «والآن سوف نحدد المناطق ذات السعات القصوى والدنيا. والسعة هي مقدار تحرُّك الماء من مستوى السطح الذي كانت عليه حين كانت هادئة.» ظهر سهمان مضيئان معلقان في الفضاء فوق السطح. كان أحدهما بلون التفاح الأخضر وكان يشير إلى الأسفل نحو نقطة اشتد فيها اضطرابُ الماء إلى أقصى حد. وكان الآخر لونه أحمر باهت ويشير إلى نقطة لم يكن السطح فيها مضطربًا على الإطلاق.

قال في حماسٍ مطرد: «سنتمكن من رؤية ما يحدث بالضبط إن نظرنا إلى تأثير فتحة واحدة فقط في كل مرة.» اختفت إحدى الفجوتين في السور ولم يتبقَّ سوى التموجات الدائرية المنتشرة نحو الخارج من الفتحة الأخرى، على الرغم من بقائها متجمدة في مكانها كما لو كانت مصنوعة من زجاج. «والآن سننتقل إلى الفتحة الأخرى.» لم تستطع أليس إلا أن ترى اختلافًا طفيفًا للغاية عندما حدث هذا. تحرَّك مكان الفجوة قليلًا، وتحرَّك نمط التموجات الدائرية الخارجة منها على نحوٍ طفيف للغاية، لكنها بوجهٍ عام بدت كما

كانت من قبل. قالت أليس: «أخشى أني لا أستطيع فهم ما تحاول أن توضحه لي. فتبدو الحالتان متماثلتين تمامًا بالنسبة إليَّ.»

«ستتمكنين من رؤية الاختلاف إذا انتقلنا سريعًا من حالة إلى أخرى.» والآن قفزت الفجوة في السور ذهابًا وإيابًا، أولًا إلى اليمين، ثم إلى جهة اليسار. ومع تحرُّكها انتقل نمط التموجات الموجودة على السطح قليلًا إلى الخلف والأمام.

صاح الميكانيكي، الذي بدا لأليس أن حماسه قد تزايد بشأن الموضوع دون مبرر: «انظري إلى أنماط الموجات تحت السهم الأخضر». ومع ذلك، فعلت ما طُلب منها ورأت أنه عند النقطة المشار إليها كان ثمة نتوءٌ في كل حالة من الحالتين. «فقد أنتجت كل فجوة في السور موجةً مرتفعةً عند هذه النقطة تحديدًا، ولهذا حين كانت الفجوتان مفتوحتين كان ارتفاع الموجة ضعف هذا الارتفاع، وإجمالي ارتفاع الماء وانخفاضه أكبر بكثير مما كان عليه عند فتحة واحدة. يطلق على هذا «التداخل البنَّاء».»

«والآن انظري إلى أنماط الموجات تحت السهم الأحمر.» وهنا رأت أليس أنه في حين أدت إحدى الفجوتين إلى حدوث قمة في الماء عند تلك النقطة، أحدثت الأخرى قاعًا في السطح. «يمكنك رؤية أنه في هذا المكان ترتفع الموجة من إحدى الفجوتين إلى الأعلى، بينما تنخفض الموجه من الفجوة الأخرى إلى الأسفل، ولهذا حين توجد قمة وقاع معًا يلغي كلٌّ منهما الآخر، ولا يظهر أي تأثير بوجه عام. ويطلق على هذا «التداخل الهدَّام».»

«هذا بالفعل كل ما يتعلق بتداخل الموجات. فحين تتداخل موجتان وتندمج إحداهما بالأخرى فإن سعاتهما؛ مقدار ارتفاعهما أو انخفاضهما، تندمجان معًا. ففي بعض الأماكن تتجه الموجات المشاركة جميعها نحو الاتجاه ذاته، ولهذا تتراكم الاضطرابات ونحصل على تأثير هائل. وقد تذهب، في مواضع أخرى، في اتجاهات مختلفة ويلغي بعضها بعضًا.»

قالت أليس: «أجل، أعتقد أني أفهم هذا. إذن فأنت تقول إن الأبواب في البنك كانت تتصرف إلى حدٍّ ما مثل الفجوات في السور هنا، وأحدثت نوعًا ما من التأثيرات الضخمة في المكان الذي كنت أرغب في الذهاب إليه، وألغت تأثير بعضها في المواضع الأخرى. ومع ذلك لا أستطيع أن أرى كيف ينطبق هذا في حالتي. ففي حالة موجات الماء هذه، فأنت تقول إن ثمة وفرة من الموجات في أحد الأماكن وندرة في مكان آخر بسبب هذا التداخل، لكن الموجة منتشرة على المساحة بأكملها، في حين أكون أنا طوال الوقت في مكان واحد فقط في أي وقت.»

صاح الميكانيكي الكلاسيكي في انتصار: «بالضبط؛ فهذه هي المشكلة. فكما تقولين، أنت تكونين في مكان واحد فقط. فأنت أقرب في الشبه إلى الجسيم منك إلى الموجة، والجسيمات تتصرف بشكل مختلف تمامًا في العالم الكلاسيكي المنطقي. فالموجة تنتشر فوق مساحة واسعة وأنتِ تنظرين فقط إلى جزءٍ صغيرٍ منها من أي موضع. وبسبب التداخل يمكنك رؤية قدر أكثر أو أقل منها في أماكن مختلفة، لكنك مع ذلك لا ترين إلا جزءًا صغيرًا فقط من الموجة الكاملة أينما نظرتِ. ومن ناحية أخرى، فإن الجسيم يوضع في نقطة ما. فحين تنظرين في الأماكن المختلفة إما تجدين الجسيم بأكمله أو أنك ببساطة لا ترينه. ففي الميكانيكا الكلاسيكية لا يوجد مجال لإظهار الجسيمات لآثار التداخل، كما نظهر نحن.»

إن التداخل كلاسيكيًّا هو خاصية للموجات؛ فهو يحدث عند تلاقي سعات أو اضطرابات من مصادر مختلفة معًا، حيث من الممكن أن تتراكم في بعض الأماكن أو يلغي بعضها بعضًا. وينتج عن هذا مناطق ذات نشاط كثيف وأخرى ذات نشاط منخفض على التوالي. ويمكن للمرء رؤية مثل هذا التأثير في النمط الناتج عن الآثار التي يخلفها زورقان في الماء تتقاطع مساراتهما معًا. كذلك قد ينتج عن آثار التداخل استقبال سيئ في جهاز التليفزيون عندما تتداخل موجات منعكسة من مبنًى مع إشارة البث المباشرة. فالتداخل يتطلب توزيعات ممتدة ومتداخلة. أما الجسيمات فتتواجد كلاسيكيًّا في موضع واحد ولا تتداخل.

تحوَّل بعد ذلك نحو أرضية «غرفة الأفكار» وحدِّق فيها بجدية. فإذا بالسطح يتحول من ماء إلى مساحة ملساء من درع فولاذي، بحواجز مدرعة حول الحواف، مرتفعة بما يكفي كي يختبئوا خلفها. وبات هناك الآن حائط مصفح مرتفع مارًّا في منتصف الأرضية حيث كان السور المنخفض يمتد عبر الماء. وكان بهذا الحائط المصفح شق ضيق إلى اليسار قليلًا من مركزه. قال: «والآن يمكننا النظر إلى الشكل نفسه، لكنني غيَّرته بحيث نستطيع رؤية الجسيمات السريعة. فهذه الجسيمات تشبه الرصاصات المنطلقة من مسدس؛ لذلك فهذا هو ما سنستخدمه.»

أومأ تجاه نهاية الغرفة حيث ظهرت بندقية آلية قبيحة الشكل مع صناديق ذخيرة كثيرة مكدسة بجوارها. ثم قال فجأة: «ركيزة هذه البندقية الآلية غير ثابتة، ولهذا فإنها لن تطلق النار في الاتجاه نفسه طوال الوقت. فبعض الرصاصات ستصيب الفجوة في الحائط وتمر عبرها، تمامًا مثلما فعل جزء الموجة الذي رأيناه في آخر تجربة ذهنية

أجريناها. أما الأغلب فسيصيب، بكل تأكيد، الحائط الفولاذي وترتد عنه. آه، وهذا يذكِّرني أنه من الأفضل لنا أن نرتدي هذه في حال ما إذا أُصبنا بأيٍّ من الرصاصات المرتدة.» استحضر خوذتين من الفولاذ وأعطى أليس واحدةً منهما.

سألت أليس: «هل نحن فعليًّا بحاجة لهذه؟ فإن كانت هذه مجرد تجربة ذهنية، فمن المؤكد أن هذه مجرد رصاصات ذهنية، ولا يمكن أن تسبب لنا أي ضرر.»

«حسنًا، ربما، لكنك ربما تعتقدين أنكِ قد أُصبت بالرصاص فعليًّا، وهذا لن يكون شعورًا لطيفًا، كما تعلمين.»

ارتدت أليس الخوذة، ولم تشعر بوجودها فوق رأسها، ولم تعتقد أنها ستكون ذات أدنى فائدة، ولكن لم يبدُ أن ثمة أي فائدة من الاستمرار في الجدال أكثر من هذا. وقف الميكانيكي منتصبًا ولوَّح بيده في مهابة، فبدأت البندقية في إطلاق الطلقات في صخب شديد. اندفعت الطلقات إلى خارج البندقية في تيار غير ثابت، وضربَ معظمها الحاجز المصفَّح وارتدت في جميع الاتجاهات، لكن مرَّ القليلُ منها عبر الفتحات الموجودة في الحاجز وضربت الحائط المقابل. رغبت أليس بشدة في الإشارة إلى أن الرصاصات عندما تضرب هذا الحائط، فإنها تتوقف على الفور، ثم ترتفع ببطء في الهواء وتبقى معلَّقة في الفضاء، فوق النقطة التي ضربت الحائط فيها مباشرةً.

«وكما ترين، فبينما كانت موجة الماء منتشرةً على الحائط البعيد بأكمله، فإن الرصاصة تصطدم به في مكان واحد فقط. ومع ذلك، ففي هذه التجربة ثمة احتمال أكبر أن تضرب الرصاصة الحائط البعيد في المكان المقابل للتجويف في الحاجز أكثر من احتمال ارتدادها عن حافة التجويف وانتهاء الحال بها في مكان بعيد على الجانب. وإذا انتظرنا قليلًا فسنرى مدى اختلاف الاحتمالات بين النقاط المختلفة على طول الحائط.» وبمرور الوقت وامتلاء الهواء بالرصاص المتطاير، تزايد عدد الرصاصات المعلقة فوق الحائط على نحو ثابت. وبينما كانت أليس تنظر استطاعت رؤية نمط محدد يتكون على الحائط.

أشار الميكانيكي حين سكتت البندقية: «هناك، ترَين كيف توزع الرصاص الذي مر عبر الشق على طول الحائط. فقد انتهى الحال بالغالبية العظمى منه قبالة الثقب مباشرةً، ويقل العدد تدريجيًّا بثبات على الجانبين. والآن انظري إلى ما سيحدث عند تغيير موضع الشق قليلًا نحو اليمين.» وبإشارة أخرى من يده سقط الرصاص المعلق في الهواء على الأرض، وبدأت البندقية في إطلاق الرصاص من جديد. وعلى الرغم من أن هذا العرض

كان صاخبًا ويثير الاضطراب إلى حد ما، فقد رأت أليس أن النتيجة النهائية كانت تمامًا كتلك التي حدثت في المرة السابقة. بصراحة، كان هذا مخيبًا للآمال.

قال الميكانيكي بثقة في غير محلها: «كما ترين فإن هذا التوزيع يشبه تمامًا التوزيع السابق، لكنه تحرك قليلًا جهة اليمين لأن مركزه الآن أصبح أمام الموقع الجديد للشق.» لم تستطع أليس رؤية أي فارق على الإطلاق، لكنها كانت مستعدة لقبول كلامه على أنه مسلَّم به.

واصل الميكانيكي حديثه في تأثر بالغ: «والآن، فلتنظري إلى ما سيحدث عند فتح الشقين معًا.» بحسب ما رأته أليس لم يحدث هذا فرقًا كبيرًا، فيما عدا أن رصاص أكثر قد مرَّ عبر الحاجز ليضرب الحائط البعيد ... وهذه المرة قررت أليس أن تعلِّق على الأمر، فقالت معتذرةً: «أخشى أنها في كل مرة تبدو لي وكأنها هي نفسها بالضبط.»

ردَّ الميكانيكي في رضًا وحبور: «بالضبط، فيما عدا أن مركز توزيع الرصاص يقع في المنتصف بين الثقبين، كما لاحظتِ بالتأكيد. فلدينا توزيع واحد لاحتمال مرور الرصاص عبر الشق الأيسر، واحتمال واحد آخر لتوزيع احتمال مرور الرصاص عبر الثقب الأيمن. وعند فتح الشقين معًا فإن الرصاص من الممكن أن يمر عبر أي من الشقين؛ لذلك فإن التوزيع الكلي يأتي من مجموع الاحتمالات التي نحصل عليها من احتمالات الشقين بمفردهما، بما أن الرصاص يجب أن يمر عبر أيٍّ منهما. فلا يمكن لها أن تمر عبر الاثنين معًا، كما تعلمين.» قال هذا الكلام مخاطبًا ميكانيكي الكَم الذي دخل الحجرة للتو.

ردَّ زميله: «أنت تقول هذا، لكن كيف يمكنك أن تكون متأكدًا بهذه الدرجة؟ فقط انظر إلى ما سيحدث عندما نكرر تجربتك الذهنية باستخدام الإلكترونات.»

لوَّح ميكانيكي الكَم هذه المرة نحو أرضية الحجرة بيده. لم تكن إيماءاته حازمةً مثل حركات رفيقه، لكن بدا أنها كانت فعالة تمامًا بالقدر نفسه. اختفت البندقية والجدران المدرعة، اختفت جميعًا. عادت الأرضية إلى المادة البراقة التي رأتها أليس في البداية، لكن الحائط ذا الشقين بالقرب من منتصفه، والذي بات وجوده مألوفًا الآن، كان ما زال موجودًا ويمتد عبر منتصف الأرضية. وفي الجانب البعيد من الأرضية كانت ثمة شاشة عريضة تُصدِر وهجًا أخضر اللون. همسَ الميكانيكي في أذن أليس قائلًا: «هذه شاشة مشعة؛ فهي تومض إذا اصطدم بها إلكترون، ولهذا يمكن استخدامها في الكشف عن أماكن وجودها.»

في طرف الأرضية المقابل، حيث كانت البندقية الآلية من قبل، كان ثمة مدفع آخر. كانت بندقية قصيرة وصغيرة، مثل نسخة مصغرة من المدافع التي يُطلق منها الناس أحيانًا في عروض السيرك. تساءلت أليس: «ما هذا؟»

«إنه مدفع إلكترونات بكل تأكيد.» عندما أمعنت أليس النظر أكثر، استطاعت أن ترى بضع درجات من السلم تؤدي إلى فوهة المدفع وصفًّا من الإلكترونات في انتظار إطلاقها منه. بدت هذه الإلكترونات أصغر كثيرًا مما كانت عليه حين رأتها في آخر مرة. قالت أليس في نفسها: «لكن بالتأكيد، هذه مجرد إلكترونات ذهنية.»

عندما نظرت إليها تفاجأت حين رأتها تلتفت وتلوِّح إليها. تسألت أليس في نفسها: «أتساءل، كيف تعرفني؟ لكني أفترض أنها جميعًا نفس الإلكترون الذي قابلته من قبل!»

أصدر ميكانيكي الكَم أمرًا فقال: «ابدأ الإطلاق!» فأسرعت الإلكترونات تصعد درجات السلم وتدخل في المدفع لتنطلق منه في تدفقٍ ثابت. لم تستطع أليس التمييز بينها على الإطلاق عندما انطلقت محلِّقة في الهواء، لكنها رأت وميضًا لامعًا في مكان اصطدام كلٍّ منها بالشاشة. مع تلاشي كل وميض كان يترك وراءه نجمة لامعة صغيرة، ترتفع فوق الشاشة وتبقى مكان هذا الوميض كي تمثل علامة على الموضع الذي هبط فيه الإلكترون.

وكما حدث في حالة البندقية الآلية من قبل، فقد استمر مدفع الإلكترونات في إطلاق تدفق من الإلكترونات، وبدأت مجموعات من النجوم الصغيرة اللامعة تتكدس في توزيع واضح المعالم. في البداية لم تكن أليس متأكدة من ماهية الشكل الذي تراه، لكن مع تزايد عدد النجوم الصغيرة المنتشرة، كان من الواضح أن توزيعها كان مختلفًا تمامًا عن ذلك التوزيع السابق لأكوام الرصاص.

فبدلًا من الانخفاض الثابت البطيء من العدد الأكبر عند المركز، كانت النجوم مرتبة الآن في شكل شرائط بها فجوات معتمة بين مواضع العلامات المضيئة القليلة، إن وجدت. أدركت أليس أن هذا الأمر أشبه نوعًا ما بما رأته في حالة موجات الماء؛ إذ كانت توجد مناطق ذات نشاط مرتفع تتخللها مساحات هادئة. والآن كانت توجد مناطق تُرصد فيها أعداد كبيرة من الإلكترونات، في حين توجد أعداد قليلة جدًّا من الإلكترونات في المساحات التي تتخللها. ولذلك عندما تكلم ميكانيكي الكَم، لم يكن لكلامه وقعٌ مفاجئ على أليس: «يوجد هناك، كما ترين، تأثير تداخل واضح. فمع موجات الماء كانت ثمة مناطق أكثر حركة وأقل حركة على سطح الماء. والآن فإن كل إلكترون سيُرصَد في موضع واحد فقط، لكن تختلف احتمالية رصد الإلكترون من موضع لآخر. فقد استبدل توزيع شدة الموجة،

الذي رأيته من قبل، بتوزيع الاحتمالات. لا يكون هذا التوزيع واضحًا في ظل وجود إلكترون واحد أو اثنين، ولكن عند استخدام الكثير من الإلكترونات فسنجد عددًا أكبر منها في المناطق ذات الاحتمال المرتفع. وفي ظل وجود شق واحد فقط، سنجد أن التوزيع ينخفض بسلاسة ليقتصر على أحد الجانبين، تمامًا مثلما حدث في حالة الرصاص أو موجات الماء، عند وجود شقٍ واحد فقط. وفي هذه الحالة نرى أنه عند وجود شقين مفتوحين فإن السعة من كلا الشقين تتداخل وينتج عن هذا قمم وقيعان واضحة في توزيع الاحتمالات. إذن فإن سلوك الإلكترونات مختلف تمامًا عما في رصاص صديقك.»

البرهان التجريبي الأقوى للسلوك الكَمِّي يمكن الحصول عليه من ظاهرة التداخل. فعندما يكون من المحتمل أن تحدث إحدى النتائج المرصودة بطرقٍ عدة، فستوجد إذن سعة لكل طريقة محتمَلة لحدوث تلك النتيجة. علاوةً على ذلك، إذا حدث واجتمعت هذه السعات معًا على نحو ما، فحينئذٍ يمكن أن تضاف معًا هذه السعات أو تُطرَح ويُظهِر التوزيع الكلي للاحتمالات حدًّا أعلى وحدًّا أدنى مميزين؛ نطاقاتٍ من الكثافة والفراغ بالتبادل. يُرى ذلك التأثير عمليًّا حيثما يحتمل توقعه. ويؤدي نوع من التداخل إلى ظهور حالات الطاقة المميزة والمحددة التي تحدث في الذرات. ووحدها الحالات التي تتوافق توافقًا تامًا ضمن الاحتمالات سوف تتداخل إيجابيًّا منتجةً حدًّا أقصى ذا احتمالٍ قوي. وأي حالات أخرى سوف يلغي بعضها بعضًا ومن ثمَّ لن تكون موجودة.

قالت أليس: «أنا لا أفهم.» فقد بدا لها أن هذا هو ما تقوله طوال الوقت. «هل تعني أن ثمة الكثير من الإلكترونات التي تمر، ولهذا فإن الإلكترونات التي تمر عبر إحدى الفتحات تتداخل، بشكلٍ ما، مع تلك التي تمر عبر الفتحة الأخرى؟»

«لا، ليس هذا ما قصدته، ليس هذا على الإطلاق. فسترين الآن ما يحدث عندما يوجد إلكترون واحد فقط محلِّقًا في أي وقت.» صفق بيديه وصاح قائلًا: «حسنًا! دعونا نكرر هذا، لكن ببطء هذه المرة.» اندفعت الإلكترونات، أو لتحري الدقة، تسلق إلكترون واحد إلى داخل المدفع وانطلق. ظلت البقية جالسة حيث كانت. وبعد فترة تسلق إلكترون آخر إلى داخل المدفع ثم انطلق أيضًا. استمر هذا الحال لبعض الوقت، واستطاعت أليس ملاحظة ظهور النمط نفسه من التكتلات والفجوات. إن هذه التكتلات والفجوات ليست على القدر نفسه من الوضوح كما كانت من قبل؛ وذلك لأن المعدل البطيء الذي تصل به هذه الإلكترونات يعني عدم وجود عدد كبير منها في التكتلات، لكن النمط كان واضحًا

بما يكفي. «ترين هناك أن تأثير التداخل يعمل بالكفاءة نفسها بالضبط حتى عندما لا يوجد إلا إلكترون واحد فقط في أي وقت. فيمكن لإلكترون واحد بمفرده أن يُظهر تداخلًا. فيمكنه المرور عبر الشقين معًا ويتداخل مع نفسه، إن جاز التعبير.»

صاحت أليس: «لكن ذلك سخيف! فلا يمكن لإلكترون واحد أن يمر عبر الشقين. فكما قال الميكانيكي الكلاسيكي، إن هذا غير معقول تمامًا.» ذهبت نحو الحاجز ودققت النظر فيه، في محاولة لرؤية المكان الذي مرت منه الإلكترونات في أثناء عبورها خلال الشقين. مع الأسف كانت الإضاءة ضعيفة وكانت الإلكترونات تتحرك بسرعة شديدة، حتى إنها لم تستطع أبدًا تحديد أي من الشقين كان كل إلكترون يعبر. فكرت أليس: «هذا سخيف، فأنا أحتاج إلى المزيد من الضوء.» لقد نسيت أنها كانت في «غرفة الأفكار»، جفلت عندما ظهر مصدر ضوء شديد معلقًا على حامل بجوار مرفقها. وجَّهت الضوء بسرعة نحو الشقين وفرحت للغاية حين رأت أنه قد أصبح من الواضح الآن ظهور ومضة مرئية بالقرب من أحد الشقين عندما يمر الإلكترون عبر أي منهما. صاحت: «لقد فعلتها! أستطيع رؤية الإلكترونات وهي تمر عبر الشقين، والأمر يحدث بالضبط كما قلتُ؛ فكل واحد من الإلكترونات يمر بالفعل عبر شق واحد فقط.»

ردَّ ميكانيكي الكَم بجدية: «حسنًا، لكن هل نظرتِ لترَي ما الذي يحدث لنمط التداخل؟» عادت أليس لتنظر نحو الشاشة البعيدة، فأصابها الذهول عندما رأت أن توزيع النجوم الصغيرة قد تضاءل بسلاسة مع الابتعاد عن المركز الممتلئ بالحد الأقصى من النجوم، بالضبط مثل التوزيع الذي رأته للرصاصات الكلاسيكية. لم يبدُ هذا الأمر عادلًا على الإطلاق.

قال ميكانيكي الكَم محاولًا التلطيف: «هذه هي الطريقة التي تجري بها الأمور دائمًا، وليس في استطاعتك فعل أي شيء حيال هذا. فإن لم تتمكني من ملاحظة أي ثقب تمر الإلكترونات عبره، فهذا يعني حدوث تداخل لديكِ بين تأثيرات الثقبين. أما إذا لاحظتِ بالفعل الإلكترونات، فستجدينها في الواقع في مكان واحد فقط من الاثنين، وليست في الاثنين معًا، ولكنها في هذه الحالة ستتصرف أيضًا كما تتوقعين لو أنها عبرت من خلال ثقب واحد فقط ولن تحصلي على أي تداخل. المعضلة تكمن في أنه لا توجد أي طريقة يمكن بها النظر إلى الإلكترونات دون إزعاجها، مثلما فعلتِ عندما سلطتِ هذا الضوء عليها؛ ذلك أن عملية الرصد في حد ذاتها تدفع الإلكترونات إلى اختيار مسار فعل واحد. لا يهم إذا ما حددتِ أي ثقب يمر عبره الإلكترون، أو لم تحددي. ولا يهم أيضًا إذا كنتِ

على دراية بالثقب الذي قد مر من خلاله؛ فأي رصد قد يخبرك بهذا من شأنه أن يزعج الإلكترون ويوقف التداخل. فتأثيرات التداخل لا تحدث إلا عندما لا يكون ثمة أي وسيلة يمكنك من خلالها معرفة أي شق مر الإلكترون من خلاله. فلا يهم سواء كنت تعرفين هذا أو لا.

ومن ثَمَّ كما ترين، فعندما يوجد تداخل يبدو كما لو أن كل إلكترون يمر من خلال الشقين معًا. وإذا حاولتِ تفقُّد هذا فستجدين أن الإلكترونات مرت عبر ثقب واحد فقط، ولكن عندها يختفي التداخل. فأنتِ لن تستطيعي الانتصار أبدًا!»

فكرت أليس في ذلك لوهلة وحسمت الأمر فقالت: «هذا سخيف للغاية!»

ردَّ عليها الميكانيكي بابتسامة فيها قدر كبير من الاعتداد بالنفس: «بكل تأكيد هو كذلك. أتفق معك أنه بالفعل أمر سخيف للغاية، ولكن بما أنه قد تصادف أيضًا أن تكون هذه هي الطريقة التي تتصرف بها الطبيعة فيجب علينا التأقلم معها. إنه التكامل، وهذا بالضبط ما أقوله!»

سألته أليس: «هلا أخبرتني من فضلك عما تقصده بالتكامل؟»

«بكل تأكيد، أقصد بالتكامل أن هناك أشياء معينة لا يمكنك معرفتها، أو على الأقل ليس جميعها في الوقت نفسه.»

عارضته أليس وقالت: «كلمة التكامل لا تعني هذا.»

ردَّ الميكانيكي: «إنها تعني هذا عندما أستخدمها أنا. فالكلمات تعني ما أختاره لها. إن المسألة تكمن فيمن تكون له السيادة، هذا كل ما في الأمر. إنه تكامل، وهذا ما أقوله.»

حاولت أليس، التي لم تقتنع تمام الاقتناع بتأكيده الأخير، لفت انتباهه فقالت: «لقد قلت هذا من قبل.»

في ميكانيكا الكَم، الجسيم يشبه الموجة والموجة تشبه الجسيم؛ إنهما الشيء نفسه. فيُظهر كل من الضوء والإلكترونات تأثيرات التداخل، لكن عند رصدهما فإنهما يظهران في صورة كموم مفردة ويُرصد كل منهما في مكان واحد. إن التداخل بين المسارات المختلفة التي يمكن للجسيم أن يتخذها يسفر عن نمط من توزيع الاحتمالات، له حدود عليا وحدود دنيا، يزيد فيها احتمال رصد الجسيم في موضع معين عن موضع آخر.

ردَّ الميكانيكي: «لا، لم أفعل. فهذه المرة تعني هذه الكلمة وجود أسئلة لا يمكنك طرحها عن الجسيم، مثل أين يوجد، وفي الوقت نفسه، ما السرعة التي يتحرك بها. في الحقيقة ربما لا يوجد معنًى فعليًّا للحديث عن وجود موقع محدد للإلكترون.»

قالت أليس بحدة: «إن هذا موضوع كبير لا يمكن وصفه في كلمة واحدة!»

أجاب الميكانيكي: «هذا مؤكد، لكنني عندما أجعل كلمةً تحمل معنًى إضافيًّا مثل هذا فإنني أتحمل تبعاتها بقدر أكبر. أخشى أني بالفعل لا أستطيع تفسير ما يحدث للإلكترونات. فالتفسير يكون مطلوبًا عادةً من أجل التوصل إلى فهم على ضوء الأشياء التي نعرفها، وهذا لا ينطبق على فيزياء الكَم. فتبدو الأمور فيها غير منطقية، ولكنها فعَّالة. وأعتقد أنه من الأسلم أن نقول إنه فعليًّا لا أحد يفهم ميكانيكا الكَم؛ لذلك لا يمكنني التفسير. إلا أنه يمكنني أن أخبركِ بطريقةٍ ما وصف ما يحدث. تعالَي لندخل الحجرة الخلفية وسأبذل كل ما في وسعي حتى أشرح لكِ.»[٢]

تركا حجرة الأفكار، التي عادت أرضيتها إلى شكلها الأصلي البراق، ومشيا معًا في ممرٍّ قادهما إلى حجرة أخرى مؤثَّثة بمقاعد وثيرة منتشرةٍ في أرجاء الغرفة. وعندما استقرَّا في جلستهما واصل ميكانيكي الكَم حديثه قائلًا: «عندما نتحدث عن حالة مثل حالة مرور الإلكترونات عبر الشقين، فإننا نصف هذا في صورة سعة. وهذه السعات تشبه الموجة التي سبق ورأيتها وفي الواقع يُطلق عليها «دالة الموجة» بدلًا من هذا. يمكن للسعة أن تمر عبر الشقين معًا، ولا تكون دومًا موجبة مثل الاحتمال. فإن أقل احتمال يمكن الحصول عليه هو صفر، لكن السعة قد تكون موجبة أو سالبة؛ لذلك فالأجزاء من المسارات المختلفة من الممكن أن يلغي بعضها بعضًا أو تُضاف بعضها إلى بعض فتصنع تداخلًا، مرةً أخرى بالضبط مثل موجة الماء.»

سألت أليس: «إذن فأين الجسيمات؟ وأي شق بالضبط الذي تمر من خلاله بالفعل؟»

«في الواقع، لا تخبركِ السعة عن ذلك، ولكن إذا عملتِ على تربيع السعة، وذلك عن طريق ضربها في نفسها، فتنتج عن ذلك قيمة موجبة دائمًا، فإن هذا يعطيكِ توزيعًا للاحتمالات. فإذا اخترتِ أي موضع فإن هذا سيخبرك باحتمالية عثورك على الجسيم في ذلك الموضع عندما تحاولين رصده.»

صاحت أليس: «هل هذا هو كل ما يمكنها أن تخبرك به؟ لا أجد أمامي غير أن أقول إن هذا لا يبدو مُرضيًا بقدر كبير؛ فلا يمكنك أبدًا معرفة المكان الذي سيوجد فيه أي شيء.»

«أجل، هذا صحيح إلى حد كبير، فبالنسبة إلى جسيم واحد لا يمكنك معرفة المكان الذي ستجدينه فيه، فيما عدا أنه بكل تأكيد لن يكون موجودًا في مكانٍ احتمال وجوده فيه صفر. أما في حال وجود عدد كبير من الجسيمات، فيمكنك التأكد تمامًا من أنك ستعثرين على عدد كبير منها حيث يكون الاحتمال مرتفعًا، مع وجود عدد قليل منها في أماكن انخفاض الاحتمال. أما في حال وجود عدد كبير للغاية من الجسيمات، فسيكون في إمكانك تحديد أين سينتهي الحال بأكبر كم منها بدقة. وكان هذا هو حال عمَّال البناء الذين أخبرتنا عنهم. فقد كانوا يعرفون ما الذي سيحصلون عليه بسبب استخدامهم لعدد كبير من قوالب الطوب. فالموثوقية الإجمالية لعدد كبير تكون جيدة جدًّا.»[٣]

كرَّرَت أليس كلامها، حتى تستوضح فقط هذا الأمر: «ولا يوجد سبيل لمعرفة سلوك كل جسيم على حدة إلا من خلال رصده؟»

«لا، لا يوجد سبيل على الإطلاق. فعندما يكون الشيء الذي ترصدينه يسلك سلوكًا بطرق عدة مختلفة، ففي هذه الحالة توجد سعة لكل طريقة مُحتمَلة. ويُمكن حساب السعة الكلية عن طريق جمع كل تلك السعات معًا. فيحدث في هذه الحالة تراكب كَمِّي للحالات. فهذا يَعني إلى حدٍّ ما أن الجسيم يفعل جميع الأشياء التي يُمكنه فعلها. إن الأمر لا يَقتصِر على عدم معرفتك بما يفعله الجسيم فحسب، بل إنَّ التداخل يظهر أن الاحتمالات المختلفة المُمكنة جميعها موجودة وتُؤثر في بعضها. فبطريقةٍ ما تكون جميعها مُتساوية في كونها حقيقة واقعة؛ فكلُّ ما ليس ممنوعًا يكون إلزاميًّا.»

«حسنًا، فقد رأيتُ هذا في لافتة معلَّقة في البنك، وقد بدَت صارمة للغاية.»

«سيكون من الأفضل لو صدقتِ في مُحتواها! فهي تُمثِّل إحدى القواعد الرئيسية هنا. فحين تُوجد أشياء كثيرة مُحتمَلة الحدوث، فإنها جميعًا تحدث. انظري إلى القطة على سبيل المثال.»

سألت أليس وهي تنظر حولها في تشوُّش: «أيُّ قطة؟»

«قطة شرودنجر بكل تأكيد، تلك الموجودة هناك. لقد تركها معنا كي نعتني بها.»

نظرت أليس نحو الركن حيث يُشير الميكانيكي ورأت قطة كبيرة مخطَّطة تنام داخل سلة في الركن. وبدا كما لو أنها استيقظت لمجرَّد سماع اسمها، فوقفت وتمطَّت؛ أو بالأحرى فعلَت هذا ولم تَفعله. استطاعت أليس رؤية هذا، بالإضافة إلى الشكل المُبهَم بعض الشيء للقطة الواقفة بظهرٍ مقوَّس في السلة، فبدا كما لو أن ثمَّة قطة أخرى تُشبهها تمامًا ما زالت مستلقية في قاع السلة. كانت متخشِّبة للغاية ولا تتحرَّك وترقد في وضع غير طبيعي إلى حدٍّ كبير. وكانت أليس تكاد تقسم بأنها ميتة من مظهرها هذا.

«لقد اخترع شرودنجر تجربة ذهنية تقبع فيها قطة تعيسة الحظ حبيسةً داخل صندوق مع قنينة تحتوي على غاز سام، وآلية لكسر تلك القنينة، هذا إن تعرضت عينة من مادة مشعَّة للتحلل. الآن نجد أن هذا التحلُّل عملية كَميَّة بكل تأكيد. ربما تتحلل تلك المادة وربما لا تتحلل، وبحسب قوانين فيزياء الكَم فسيحدث تراكب كَمِّي للحالات، تتحلَّل المادة المشعَّة في بعض من تلك الحالات، وفي البعض الآخر لا يحدث التحلل. وبالطبع في الحالات التي يحدث فيها التحلل تموت القطة، وبذلك يَحدُث تراكب كَمِّي لحالات القطة، فتكون في بعض الحالات ميتة وفي البعض الآخر على قيد الحياة. وعند فتح الصندوق فإن شخصًا ما سيرصد حالة القطة، وعندها ستكون إما ميتة أو على قيد الحياة من هذا الوقت فصاعدًا.» السؤال الذي طرحه شرودنجر كان: «ماذا كانت حالة القطة قبل فتح الصندوق؟»

سألت أليس: «وماذا حدث عند فتح الصندوق؟»

«حسنًا، في الواقع، كان الجميع منشغلًا في مناقشة المسألة، فلم يقدِم أحد ما على فتح الصندوق على بالإطلاق، ولهذا تُركت القطة على هذا الوضع.»

حدَّقت أليس في السلة عن قرب، حيث كانت إحدى هيئتي القطة مُنشغلَة في لعق نفسها، فقالت: «إنها تبدو لي مفعَمة بالحياة إلى حدٍّ كبير.» لم تكدْ هذه الكلمات تخرج من فمها حتى أصبحت القطة مجسَّمة بالكامل وتلاشَت نسختها الميتة. أصدرت القطة صوتًا مُفعَمًا بالسعادة، ووثبَت إلى خارج الصندوق وبدأت في مطارَدة فأرٍ ظهر فجأة من الحائط. لاحظت أليس عدم وجود فتحة مرئية في الحائط يخرج منها الفأر، فقد خرج ببساطة من الحائط المُصمَت. نظر ميكانيكي الكَم في الاتجاه الذي تحدق فيه. «حسنًا، أجل، فهذا مثال على اختراق الحاجز؛ إن هذا يحدث طوال الوقت. فعندما توجد منطقة لا يستطيع الجسيم الدخول إليها على الإطلاق وفقًا للميكانيكا الكلاسيكية، فإن السعة لا تتوقَّف بالضرورة على نحوٍ مفاجئ عند الحدود، على الرغم من أنها تتلاشَى سريعًا داخل المنطقة. وإن كانت المنطقة ضيقة للغاية، فسيبقى جزء صغير من السعة على الجانب الآخر، وهذا يُعطي احتمالًا بسيطًا أن الجسيم من المُمكن أن يظهر هناك؛ إذ مِن الواضح أنه قد نجَح في عبور حائل لا يُمكن عبوره عن طريق إحداث نفق فيه. وهذا الأمر يتكرَّر طوال الوقت.»

كانت أليس تُفكِّر فيما شاهدته ولاحظت وجود إشكالية: «كيف تمكَّنتُ من رصد حالة القطة وتحديدها، في حين لم تتمكَّن هي من فعل هذا لنفسِها؟ فما الذي يُقرِّر وقتَ حدوث الرصد فعليًّا، ومن الذي في استطاعته أن يفعله؟»

ردَّ ميكانيكي الكَم: «حسنًا، هذا سؤال جيد، لكنَّنا في النهاية مجرد ميكانيكيين؛ ولذلك فنحن لا نشغل أنفسنا كثيرًا بمثل هذه الأشياء. فنحن نُواصِل أداء عملنا ونستعمل طرقًا نعرف أنها ستكون فعالة عمليًّا. وإذا أردتِ شخصًا تناقشين معه معضلة القياس، فعليكِ الذهاب إلى مكان أكاديمي أكثر. ولهذا أقترح عليكِ الذهاب إلى أحد الفصول في مدرسة كوبنهاجن.»

سألت أليس وقد سلمت بأنها ستُرسل إلى مكان آخر مرةً أخرى: «وكيف يُمكنني الوصول إلى هناك؟» وردًّا على سؤالها أرشدها الميكانيكي إلى الخارج في الممر وفتح لها بابًا آخر. لم يأخذها هذا إلى داخل الزقاق الذي جاءت منه، ولكن إلى داخل غابة.

هوامش

(١) دائمًا ما تُعقَد مقارنة بين ميكانيكا الكَم والميكانيكا الكلاسيكية أو النيوتنية. فتُغطِّي الأخيرة الوصف التفصيلي للأجسام المتحرِّكة، وقد ظهرت قبيل السنوات الأولى من القرن العشرين، وتَرتكِز على النظريات الأصلية لجاليليو ونيوتن وآخرين قبله وبعده. يُمكِن استخدام الميكانيكا النيوتنية على نحو جيد جدًّا في تفسير نطاق أوسع من الظواهر الكونية. فيُمكن التنبؤ بحركة الكواكب على مدى فترات زمنية طويلة وبدقة شديدة. ويُمكِن تطبيقها بالكفاءة نفسها تقريبًا على الأقمار الصناعية ومختلف المهام الاستكشافية للفضاء: فمَن المُمكِن التنبُّؤ بمواضعها لسنوات قادمة، وتَنطبق كذلك بكفاءة عالية على التفاح المتساقط.

وفي حالة التفاح المتساقط ستوجد مقاومة كبيرة من الهواء المحيط بها. تصفُ الميكانيكا الكلاسيكية هذا كتصادمات لأعداد مهولة من جزيئات الهواء بالتفاحة وارتدادها عنها. فحين يسأل المرء عن جزيئات الهواء، يُقال له إنها مجموعات صغيرة من الذرات، وحين يسأل عن الذرات يسودُ صمتٌ مُطبق محرج.

ففي الواقع لم تُسجِّل الميكانيكا النيوتنية أي نجاح في وصف العالم على مستوى الذرات. فيجب على الأشياء بطريقةٍ ما أن تكون مختلفة بالنسبة إلى الأجسام الصغيرة عنها بالنسبة إلى الأشياء الكبيرة. إذا كنت تجادل في هذه النقطة، فيجب عليك أن تطرح هذا السؤال: صغيرة أم كبيرة بالنسبة إلى ماذا؟ فلا بد من وجود أبعاد معيَّنة، بعض الثوابت الأساسية التي تحدد الحجم الذي يصبح عنده هذا السلوك الجديد واضحًا. إنه تغيُّر حاسم في الطريقة التي تتصرَّف بها الأجسام عند الرصد وهو أيضًا سلوك كوني

عام. تشعُّ الذرات الموجودة في الشمس وفي النجوم البعيدة ضوءًا له طيف يشبه الضوء الصادر من مصباح يوجد على منضدة بجوارنا. إن بداية السلوك الكَمِّي ليست شيئًا صادف أن يحدث على نطاق ضيق، فيشمل بعض الخصائص الأساسية للطبيعة، يُعبر عنها ثابت h العام، الذي يظهر في أغلب معادلات ميكانيكا الكَم. فالعالم يكون حُبيبيًّا على النطاق المعين بذلك الثابت .h على هذا النطاق يختلط كلٌّ من الطاقة والزمن، والموضع وزخم الحركة معًا ... ولا حاجة بنا إلى الإشارة إلى أنه على مستوى الإدراك البشري فإن h يكون صغيرًا للغاية في الواقع، وأن أغلب تأثيرات الكَم ليست واضحة على الإطلاق.

(٢) إنَّ ما تخبرنا به علاقات عدم اليقين لهايزنبرج أننا ننظر إلى الأشياء على نحو خاطئ. إن لدينا فكرة مسبقة بأن علينا أن نملك القدرة على قياس موضع الجسيم وزخم حركته في الوقت نفسه، لكننا نجد أننا لا نستطيع فعل هذا. فليس من طبيعة الجسيمات أن نتمكن من قياسها على هذا النحو، وتخبرنا النظرية بأننا نطرح الأسئلة الخطأ، وهي أسئلة لا توجد لها إجابات صحيحة. استخدم نيلز بَور كلمة «التكامل» كي يعبر عن حقيقة احتمال وجود مفاهيم لا يمكن تحديد معناها بدقة في الوقت نفسه، مثل زوج من المفاهيم، مثل العدالة والشرعية، والعاطفة والعقلانية.

من الواضح أن ثمة خطأً أساسي في اعتقادنا بأننا من الممكن أن نستطيع التحدث عن موضع الجسيم وزخم حركته، أو عن طاقته بالضبط عند زمن محدد. ليس من الواضح جدوى الحديث آنيًّا عن مثل هاتين الخاصيتين المختلفتين، لكن يبدو أنه لا جدوى من هذا.

(٣) لا تدور ميكانيكا الكَم في الواقع عن جسيمات محددة بالمعنى الكلاسيكي التقليدي، وإنما بدلًا من هذا تتحدث عن حالات وسعات. فإذا عملنا على تربيع سعة «أي ضربناها في نفسها»، فإننا نحصل على توزيع للاحتمالات، يُوفِّر إمكانية الحصول على نتائج متنوعة عند الرصد أو القياس. تبدو القيمة الفعلية التي نحصل عليها عند أيِّ قياس عشوائية تمامًا ولا يُمكن التنبؤ بها. وعلى هذا، يبدو الاقتراح الوارد سابقًا بأن الطبيعة غير يقينية وأن «كل شيء مُمكن»، في النهاية، صحيحًا، أليس كذلك؟

حسنًا، لا؛ فإذا أجرَينا عدة قياسات فإن متوسط النتائج يمكن التنبؤ به بدقة. فوكلاء الرهونات لا يعرفون أيَّ حصان سيفوز في كل سباق، ولكنهم يتوقعون بثقة أنهم سيحصدون الأرباح في نهاية اليوم. فهم لا يتوقعون خسائر كبيرة مفاجئة حتى وإن اضطروا للعمل مع مبالغ صغيرة إلى حدٍّ ما، وبالتالي فلا يمكن الاعتماد على المتوسط

بقدر كبير. فسيكون عدد المراهنين مجرد بضعة آلاف بدلًا من آلاف الملايين أو ذرات أكثر نجدها في أصغر قطعة من المادة. إن هذا يبدو كنمط ورق حائط متكرر أكثر من كونه رقمًا، لكن لا يُمكن إنكار ضخامته. إن التذبذبات الإحصائية الإجمالية المتوقَّعة للقياسات التي تُجرى على مثل هذا العدد الضخم من الذرات تكون صغيرة للغاية، على الرغم من أن نتيجة كل ذرة على حدة قد تكون عشوائية تمامًا.

يُمكن حساب السعات في ميكانيكا الكَم بدقة كبيرة ومقارنتها بالتجارب. فالنتيجة التي يُستشهَد بها دائمًا تكون للعزم المغناطيسي للإلكترون. فالإلكترونات تدور مثل قِمَم صغيرة، كما أن لها خصائص كهربائية أيضًا؛ فهي تتصرَّف مثل القضبان المغناطيسية الصغيرة. فالقوة المغناطيسية واللفُّ المغزلي للإلكترون مُرتبطان معًا ويُمكن حساب نسبتهما باستخدام وحدات مناسبة.

والنتيجة التي يُصدرها الحساب الكلاسيكي هي ١ (مع افتراضات اعتباطية إلى حدٍّ ما حولَ توزيع الشحنة الكهربية في الإلكترون).

أما النتيجة التي تصدر عن الحساب الكَمِّي فهي ٢٫٠٠٢٣١٩٣٠٤٨ (±٨) (الخطأ في آخر رقم عشري).

أما القياس فقد أعطى النتيجة ٢٫٠٠٢٣١٩٣٠٤٨ (±٤).

إن هذا اتفاق جيد! فاحتمال الحصول مصادفةً على مثل هذا التوافق في القيم، يشبه احتمالية رمي سهم عشوائيًّا على مركز لوحة الهدف للأسهم وإصابته عندما تكون تلك اللوحة بعيدة كبعد القمر. وهذه النتيجة تحديدًا دائمًا ما تُذكر كمثال على نجاح نظرية الكَم. فمن المُمكن حساب سعات العمليات الأخرى بالدقة نفسها، ولكن ثمة مقادير قليلة للغاية يُمكن قياسها بمثل هذه الدقة.

الفصل الرابع

مدرسة كوبنهاجن

دخلت أليس الغابة وسارت في طريق متعرِّج بين الأشجار، حتى بلغت مكانًا يتفرع عنده الطريق. كان ثمة علامة إرشادية عند مُفترق الطرق، لكنها لم تبدُ مفيدةً للغاية. فكان الذراع الذي يشير نحو اليمين يحمل الحرف «أ»، والذي يشير إلى اليسار يحمل الحرف «ب»، لا شيء أكثر من هذا. قالت أليس في سخط: «حسنًا، أنا أعترف بأن هذه بالفعل هي أكثر علامة إرشادية غير مفيدة رأيتها على الإطلاق.» نظرت حولها كي ترى إن كان ثمة أي أدلة أو علامات تُشير إلى أين تؤدي هذه الطرق، وعندها تفاجأت حين رأت قطة شرودنجر جالسة على غصن شجرة على بعد بضع ياردات.

قالت على استحياء: «حسنًا، أيتها القطة، هلَّا دللتيني من فضلك على الطريق الذي عليَّ أن أسلكَه من هنا؟»

قالت القطة: «إن هذا يعتمد بقدرٍ كبير على المكان الذي تودِّين الذهاب إليه.»

بدأت أليس الكلام: «أنا في الواقع لستُ متأكِّدة من المكان الذي ...»

قاطعتها القطة وقالت: «إذن لا يهم أي طريق تسلكين.»

قالت أليس: «لكن عليَّ أن أختار بين هذين الطريقين.»

قالت القطة في تأمُّل: «حسنًا، أنتِ مخطئة في هذا التفكير. فليس عليكِ الاختيار؛ إذ يُمكنكِ السير في جميع المسارات؛ وبكل تأكيد قد تعلمتِ الآن. فأنا عن نفسي دائمًا ما أفعل نحو تسعة أشياء مختلفة في الوقت نفسه؛ فتستطيع القطط التجول في أرجاء المكان عندما لا تتعرض للرصد.» ثم قالت في عجالة: «وبالحديث عن الرصد، أعتقد أنني على وشك أن أصبح مرصد...» وفي هذه اللحظة اختفَت القطة فجأة.

فكرت أليس وقالت: «يا لها من قطة غريبة، ويا له من افتراض غريب، بالتأكيد كانت تُشير إلى التراكب الكَمي للحالات الذي كان الميكانيكي يتحدَّث عنه. أعتقد أنه لا بد

أن يكون شيئًا مشابهًا لما حدث حين غادرت البنك. فقد استطعتُ بطريقةٍ ما حينها الذهاب في عدة اتجاهات مختلفة، ولهذا أفترض أن عليَّ فقط محاولة فعل هذا مجدَّدًا.»

الحالة: أليس (أ١)

انعطفَتْ أليس يمينًا عند الإشارة ومشَت مُبتعِدة على طول الطريق المليء بالمنحنيات، وظلَّت تنظر حولها إلى الأشجار في أثناء سيرها. لم تكد تبتعد في الطريق حتى وصلت إلى تفرُّع آخر فيه، وهذه المرة كانت اللوحة الإرشادية بها ذراعان كُتب عليهما الرقمان «١» و«٢»، فانعطفت أليس يمينًا واستمرت في طريقها.

وبينما هي تَمشي في الطريق، قلَّت كثافة الأشجار ووجدت نفسها تصعد منحدرًا صخريًّا بصعوبة بالغة. ازداد انحدارُه أكثر فأكثر مع استمرارها في المشي حتى وجدت نفسها تتسلق جانب جبل وحيد منعزل. وصلت عبر هذا الطريق إلى حافة صخرية على جانب جرفٍ شديد الانحدار. وفي النهاية قادها هذا الطريق إلى مساحة صغيرة تكسوها الحشائش، ذات جوانب عمودية. ظهر أمام عينيها فمٌ مُتثائب على جانب المنحدر، يخرج منه ممرٌّ يقود إلى الداخل والأسفل.

كان الممرُّ شديد الظلمة، لكن لدهشتِها وجدت أليس نفسها تزحف إلى أسفله. كانت له أرضية وجوانب ملساء ويمتدُّ على نحوٍ مستقيم إلى الأمام، ويَنحدِر برفق إلى الأسفل نحو ضوء بعيد لامع يُرى بشكل خافت. وكلَّما تقدمت ازداد سطوعًا، وأصبح أكثر توهُّجًا واحمرارًا، وأصبح النفق أكثر سخونة. رأت أعمدة من البخار تطفو من حولها، وسمعت صوتًا أشبه بشخير حيوانٍ ضخم في أثناء نومه.

في نهاية النفق نظرت أليس بحذر نحو القبو الكبير. ولم يكن من المُمكِن تخمين مساحته الشاسعة المظلمة لاتِّساعها، ولكن بالقرب من أسفل قدميها ظهر وهج عظيم. فوجدَت تنينًا ضخمًا لونه ذهبي مائل إلى الحمرة يغطُّ في نوم عميق، ذيله الضخم ملفوفٌ حوله. رأت تحته كومة كبيرة من ذهب وفضة وجواهر وأشياء منقوشة في روعة تُكوِّن فِراشَه، كلها مشوبة بالحمرة تحت الضوء الوردي.

الحالة: أليس (أ٢)

انعطفت أليس يَمينًا عند الإشارة ومشَت مسافة طويلة في الممر المليء بالمنحنيات، وظلَّت تنظر حولها إلى الأشجار في أثناء سيرها. لم تكدْ تَبتعِد في طريقها حتى وصلت إلى تفرُّع

آخر للطريق، وهذه المرة كانت اللوحة الإرشادية بها ذراعان كُتب عليهما الرقمان «١» و«٢»، فانعطفت أليس يَسارًا واستمرَّت في طريقها.

وفي أثناء سيرها على طول الطريق، نظرت أمامها فوجدت أن المسار الذي كانت تسير عليه قد تحوَّل من طريق داخل الغابة إلى طريق ضيق مرصوف بقوالب طوب أصفر. سارت في هذا الطريق بين الأشجار حتى خرجت من الغابة على مرج واسع. كان المرج واسعًا للغاية، يمتد إلى أبعد ما يصل إليه نظر أليس، وكان الحقل بأكمله مغطًّى بخشخاش زاهي اللون. امتد الطريق المرصوف بالطوب الأصفر عبر منتصف المرج حتى وصل إلى بوابات مدينة بعيدة. ومن حيث كانت أليس تقف استطاعت رؤية أن جدران المدينة العالية كان لونها أخضر لامعًا والبوابات مرصَّعة بالزمرُّد.

الحالة: أليس (ب١)

انعطفت أليس يسارًا عند الإشارة ومشت مسافة طويلة في الطريق المليء بالمُنحَنيات. لم تجد أي شيء مميز يسترعي انتباهها. انعطفت عند زاوية ووصلَت إلى تفرُّع آخر للطريق، وهذه المرة كانت اللوحة الإرشادية لها ذراعان كُتب عليهما الرقمان «١» و«٢»، فانعطفت أليس يمينًا واستمرَّت في طريقها.

ازداد تشابك الأشجار وبات من الصعب رؤية أي شيء بعد الطريق، على الرغم من أن الممر نفسه كان لا يزال واضح المعالم في انحنائه بين الأشجار المكدسة بالقرب بعضها من بعض. انعطفت أليس عند زاوية وفجأة وصلت إلى مساحة مفتوحة. وفي منتصف تلك المساحة الخالية من الأشجار رأت مبنًى صغيرًا له سطح شديد الانحدار وبه برج صغير في أحد جوانبه. كانت عبارة «مدرسة كوبنهاجن» منقوشة بعمق على العتبة الحجرية الموجودة فوق الباب.

قالت أليس في نفسها: «لا بد أن يكون هذا هو المكان الذي نصحوني بالذهاب إليه. ومع هذا لست متأكِّدة من أني أرغب في الدخول إلى مدرسة! فقد اكتفيتُ بما قضيته من وقت في المدرسة العادية، لكن من المحتمَل أن تكون المدرسة هنا مختلفة تمامًا عن تلك التي اعتدت عليها. سوف أدخل وأرى!» ودون أن تطرق الباب، فتحته ودخلت.

الحالة: أليس (ب٢)

انعطفَت أليس يسارًا عند الإشارة ومشت لمسافة على طول الطريق المليء بالمنحنيات، ولكنَّها لم ترَ شيئًا مميزًا يستحق النظر إليه حتى الآن. انعطفت عند زاوية ووصلَت إلى تفرُّع آخر للطريق، وهذه المرة كانت اللوحة الإرشادية لها ذراعان كُتب عليهما الرقمان «١» و«٢»، فانعطفت أليس يسارًا واستمرت في طريقها.

بدأ الممر يرتفع بعد أن مشت فيه لفترة، وتسلَّقت أليس جانب تل صغير. عند قمة التلِّ وقفت لعدة دقائق تنظر حولها في كل الاتجاهات متطلِّعة إلى البلدة، وكانت بالفعل بلدة غريبة للغاية. فكان ثمَّة عدد من الجداول المائية الصغيرة تتدفَّق عبرها من جانب إلى آخر والأرض بينها كانت مقسَّمة إلى مربعات عن طريق عدد من السياج الممتدة من جدول لآخر.

قالت أليس في النهاية: «أعترف بأنها مقسَّمة بالضبط مثل لوحة شطرنج كبيرة.»

ناداها صوتٌ خفيض فأدركت أليس أن ثمة مَنْ رصد وجودها: «حسنًا، ادخلي يا عزيزتي.» تخطَّت الباب ونظَرَت حولها في حجرة الدراسة. كانت حجرةً ضخمةً للغاية، ويُحيط بها نوافذُ مُرتفِعة من كل جانب. وفي منتصَف الغرفة كان ثمة صفوف من المناضد التي يَجلس عليها الطلاب. وفي أحد أطراف الحجرة كان ثمة سبورة سوداء وأمامها منضدة كبيرة يقف خلفها المعلم.

اعترفت أليس بينها وبين نفسها وهي تَلتفِت لتنظر إلى الأطفال في الفصل: «إنها تبدو إلى حدٍّ كبير مثل مدرسة عادية.» إلا أنها وجَدَت أن المقاعد لم يكن يَجلس عليها أطفال، لكن مجموعة مختارة من كائنات مُثيرة للدهشة للغاية جلست مُجتمعة في مقدمة الغرفة. كانت توجد عروس بحر بشعر طويل مُسترسِل وذيل سمكة مغطًّى بالقشور. كان ثمة أيضًا جندي في زيٍّ رسميٍّ اتضح لها بنظرة متفحِّصة أنه مصنوع من الصفيح، بالإضافة إلى فتاة رثَّة الثياب شعثاء الشعر بصينية مملوءة بِعيدان الثقاب. ورأت أيضًا فرخ بطٍّ صغيرًا قبيح المظهر للغاية، ورجلًا يبدو مُتغطرسًا بإطلالة ملكية، ولسببٍ ما لم يكن يرتدي إلا ملابسه الداخلية.

تساءلت أليس في نفسها قائلة: «أو ربما لا؟» فحين نظرت إليه مجددًا رأته يرتدي ثيابًا فاخرة مطرَّزة ورداءً مخمليًّا ثقيلًا منسدلًا. ومع ذلك عندما نظرت إليه مرةً أخرى كان كل ما استطاعت رؤيته مجرَّد رجلٍ سمين مهيب في ثيابه الداخلية.

قال المعلم: «أهلًا بكِ يا عزيزتي.» وكان يبدو رجلًا لطيفًا مهيب المظهر حواجبه كثيفة. «هل جئتِ كي تَنضمِّي إلى نقاشنا؟»

قالت أليس: «أخشى أني لا أعرف كيف انتهى بي المطاف هنا؛ فقد بدا لي أني كنتُ في كثيرٍ من الأماكن الأخرى منذ لحظة، وأنا لا أعرف يقينًا على الإطلاق سبب وصولي في النهاية إلى هنا وليس إلى أيٍّ من الأماكن الأخرى.»

«هذا بالطبع لأننا قُمنا برصدِكِ لتكوني هنا. فقد كنتِ في وضعِ تراكُب للحالات الكَميَّة، لكن بمجرَّد أن رصدناكِ لتُصبحي هنا، أتيتِ بطبيعة الحال إلى هنا. فمِن الواضح أن أحدًا لم يرصدْكِ في أيٍّ من الأماكن الأخرى.»

سألت أليس في فضول: «ما الذي كان سيَحدُث لو أنني رُصدتُ في أيٍّ من الأماكن الأخرى؟»

«إذن لكانت مجموعة حالاتك قد انهارَت بكلِّ تأكيد إلى ذلك المكان الآخر، وما كنتِ لتأتي إلى هنا، بل كنتِ تذهبين بدلًا من ذلك إلى المكان الذي رُصدتِ فيه، بكل تأكيد.»

ردَّت أليس التي شعرت مرةً أخرى بارتباك شديد: «أنا لا أفهم بالفعل كيف يُمكن حدوث ذلك، فما الفارق الذي يَحدُث سواء رُصدتُ أم لا؟ فمن المؤكَّد أني يجب أن أكون في أحد الأماكن دون الآخَر بصرف النظر عمَّن يراني.»

«لا، على الإطلاق! ففي النهاية لا يُمكن للمرء قول ما يحدث في أي نظام إذا لم يرصدْه. فمن الممكن أن يكون ثمة عدد كبير من الأشياء التي من المُحتمَل أنه يفعلها، وطالَما أنكِ لا تنظرين إليه يمكنك إعطاء احتمال أنه يفعلها أو لا يفعل أيًّا منها. وفي الواقع فإن النظام يكون في مزيج من الحالات بقدر كل الأشياء التي من المحتمَل أنه يفعلها. سيكون هذا هو الوضع حتى اللحظة التي تنظرين فيها إليه لرؤية ما يحدث فيه. وفي هذه اللحظة بكل تأكيد يحدث انتخاب لاحتمالٍ واحد فقط، ومِن ثمَّ يقتصر النظام على فعل هذا الاحتمال فحسب.»

سألت أليس: «إذن فماذا يحدث لكل الأشياء الأخرى التي كان يفعلها؟ هل تتلاشى فحسب؟»

أجاب المعلم وهو يَبتسِم لها: «حسنًا، توجد أشياء من المحتمَل أن يفعلها أكثر من الأشياء التي كان يفعلها، لكن أجل. لقد أدركت الأمر بالضبط، فكل الحالات الأخرى تتلاشى فحسب. فأرض الاحتمال تتحوَّل إلى الأرض التي لم تكن أبدًا. وفي هذه المرحلة تتوقَّف كل الحالات الأخرى عن الوجود في أيِّ شكلٍ واقِعي. فتُصبح — إذا جاز التعبير —

مجرَّد أحلام أو خيالات وتُصبح الحالة المرصودة هي الواقعية الوحيدة. ويُطلق على هذا اختزال الحالات الكَميَّة، وسوف تَعتادين على هذا قريبًا.»

سألت أليس في نوع من عدم التصديق: «هل يعني هذا أنكَ عندما تنظر إلى شيء ما، فإنك تختار ما ستراه؟»

> يمثل تفسير كوبنهاجن (الذي سُمي تيمنًا بالفيزيائي الدنماركي نيلز بَور وليس تيمنًا بهانز كريستيان أندرسون) الصورة التقليدية لميكانيكا الكَم. فحين يوجد احتمال لحدوث أشياء مختلفة في النظام الفيزيائي، ستُوجد سعة لكل واحد منها، وعندها تصبح الحالة الإجمالية للنظام هي مجموع كل هذه السعات أو تراكبها الكَمي.
>
> وعند حدوث الرصْد فإنه يُعثر على قيمة تتوافَق مع واحدة من هذه السعات. وعندها فإن السعات المُستثناة تتلاشى، في عملية تُسمَّى «اختزال السعات».

«بالطبع لا، فالأمر ليس فيه أي نوع من الاختيار. فالشيء الذي يكون من المحتمَل رؤيته يتحدَّد من خلال احتمالات الحالات الكَميَّة المتنوِّعة. أما ما ترينه بالفعل فهو مسألة مصادفة عشوائية. فأنتِ لا تختارين ما سيحدث، والسعات الكَميَّة لا تقدم إلا الاحتمالات الخاصة بالنتائج المختلفة، لكنَّها لا تحدد ما سيحدث. فهذا يرجع إلى محض الصدفة ولا يتحدَّد إلا عند حدوث الرصد.» قال المعلِّم هذا الكلام بجدية شديدة، مع أنه التزم الهدوء البالغ لدرجة أن أليس عانت حتى لا يفوتها أي شيء من كلامه.

تساءلت أليس في نفسها بصوتٍ خافت: «إذن يبدو هذا الرصد شيئًا مهمًّا للغاية، لكن من يَستطيع أن يُجريَ هذا الرصد إذن؟ من الواضح أن الإلكترونات ليسَت قادرةً على رصد نفسها وهي تَعبُر من خلال الشقين في تجربة التداخل؛ وذلك لأنها تبدو كما لو أنها تعبر من خلال كلا الشقين.» ثم صحَّحت لنفسها متبعةً أسلوب الحديث التي سمعتْه كثيرًا للغاية مؤخرًا: «أم عليَّ القول إن سعات كلا الشقَّين تكون موجودة؟ من الواضح أني لم أرصُد نفسي جيدًا عندما كنت في حالة من التراكب الكَمي منذ قليل.»

قالت أليس فجأة، وقد خطرت لها فكرة مفاجئة: «في الحقيقة إذا كانت ميكانيكا الكَم تقول إنه يجب على المرء فعل كل شيء في استطاعته فعله، فبكلِّ تأكيد يجب عليه رصد كافة النتائج المحتمَلة لأي قياس يفعله. فإذا كان مبدأ التراكب الكَمي الخاص بالمرء يُمكن تطبيقه في كل مكان، فلن يُمكن إجراء أي قياس على الإطلاق! فأيُّ قياس

يحاول المرء إجراءه تكون له العديد من النتائج المحتمَلة. ومن الممكن رصد أيٍّ من هذه النتائج، وبحسب قواعدك، فإنك إن استطعتَ رصد أيٍّ من هذه النتائج فلا بد لك من رصدها جميعًا. وعليه فإن نتائج قياسك ستكون جميعها موجودة في نسخة جديدة من هذا التراكُب الكَمي للحالات الذي تتحدَّث عنه. وفي الواقع أنت لا تستطيع أبدًا رصد أي شيء، أو بالأحرى لن يكون هناك أي شيء أبدًا يُمكنك أن تفشَلَ في رصده.»

توقَّفَت أليس وصمتَت لتلتقط أنفاسها، فقد اندمجت للغاية في هذه الفكرة الجديدة ولاحظت أن كل مَن في الحجرة كان يُحملِق فيها باهتمام. وعندما صمتَت تحرَّكُوا جميعًا ببعض الصعوبة.

قال المعلم بلطف: «بالتأكيد أنتِ تُعبِّرين عن وجهة نظر مهمَّة للغاية هنا. إنها تُعرف باسم «معضلة القياس» وهي الموضوع الذي ندرسه معًا هنا في هذا الفصل.»[١]

واصلَ المعلِّم حديثه فقال: «من المُهم أن نتذكَّر أنها معضلة حقيقية. فلا بد من وجود مزيج من السعات مثل التي نصفها في النُّظُم التي تتكوَّن من إلكترونٍ أو اثنين، كما في تجربة تداخُل الشقين التي رأيتها، بسبب حدوث تداخُل بين السعات. هذه ليست وسيلة لقول إن الإلكترون يحتمل أن يكون في حالة ما، لكنها أيضًا لقول إنك لا تستطيع معرفة طبيعة هذه الحالة. فهذا الوضع لا يُمكن أن يؤدي إلى أي تداخل؛ لذلك نحن مجبرون على قبول أن كل إلكترون يكون في جميع الحالات، من ناحية ما. أعتقد أنه ليس من المناسب السؤال عما يفعله الإلكترون فعليًّا، وهذا لأنه لا يوجد أيُّ سبيل لمعرفة هذا. وإذا حاولتِ التحقُّق من هذا فستغيرين النظام، وبذلك فستفحَصين شيئًا مُختلفًا تمامًا.»

«وكما أشرتِ، يبدو أن ثمة مُعضلة هنا. فالذرات والنُّظُم التي تحتوي على عدد قليل من الجسيمات دائمًا ما تفعَل كل ما في استطاعتها فعله، ولا تتَّخذ أبدًا أي قرارات. أما نحن، من ناحية أخرى، فنفعل دائمًا شيئًا واحدًا فقط ولا نرصد أكثر من نتيجة واحدة في أي موقف. أعدَّ كل طالب من الطلاب كلمة قصيرة حول معضلة القياس. فهم يتدارسون عند أي نقطة — إن وجدت — يتوقف السلوك الكَمي عن العمل، ذلك السلوك الذي يَسمح لكل الحالات بالوجود معًا في الوقت نفسه، وبذلك يُصبح من الممكن إجراء مشاهَدات مُتفرِّدة. فربما تودِّين الجلوس والاستماع إلى عروضهم التقديمية.» بدت هذه لأليس فرصة جيدة، ولذلك جلسَتْ على أحد المقاعد ومالت للأمام في ترقُّب.

أعلن المدرس: «الكلمة الأولى»، وقد نجح بصوته الهادئ في إسكات همهمة التعليقات المتوقَّعة من الطلاب. «ستكون للإمبراطور.» نهض السيد السمين المبجَّل في لباسِه الداخلي

الأرجواني الأنيق، والذي كانت أليس قد لاحظته عند دخولها إلى هذا الفصل في البداية، ومشى إلى مقدمة الفصل.[٢]

نظرية الإمبراطور (العقل فوق المادة)

بدأ بتوجيه نظرة خاطفة مُتغطرِسة في أنحاء الغرفة: «إن فرضيتنا هي أن الأمر كله يَحدُث في العقل.»

ثم استطرد في حديثه قائلًا: «فالقوانين التي تعمل النُّظم الكَميَّة وفقًا لها؛ وصف الحالات الفيزيائية باستخدام السعات، والتراكب الكَمي لهذه السعات عند وجود أكثر من حالة واحدة محتمَلة؛ فإن هذه القوانين تنطبق على كل شيء مادِّي في العالم.» أعاد ما قاله من قبل فقال: «نحن نقول «كل شيء مادي.» هذا لأن نقطة الجدل لدينا تتمثل في أن مثل هذا التراكب الكَمي لا يشعر به العقل الواعي. فالعالم المادي يحكمه السلوك الكَمي في جميع أطواره، وأي نظام مادِّي محض — صغيرًا كان أو كبيرًا — سيكون دائمًا به مزيج من الحالات، مع وجود سعة لكل شيء يحتمل وجوده أو كان من المحتمل وجوده؛ ففقط عندما يدخل الموقف حيز انتباه الإرادة السيادية للعقل الواعي يحدث الاختيار.

فالعقل شيءٌ خارج نطاق القوانين التي تحكم بلاد الكَم، أو في حالتنا هذه أعلى منها. فنحن لسنا محكومين بالحاجة إلى فعل كل شيء من الممكن فعله، فبدلًا من ذلك لدينا حرية الاختيار. فعندما نرصد شيئًا ما، فإن هذا الشيء يكون قد رُصِدَ؛ فيعلم أننا قد رصدناه، ويعلم الكون بأننا قد رصدناه، ويظل هو منذ ذلك الحين على الحالة التي رصدناه عليها. ففعل الرصد في حد ذاته هو الذي يفرض صورة فريدة ومحددة على العالم. فربما لا تكون لدينا فرصة اختيار ما نراه، ولكن ما نرصده بالفعل، أيًّا كان، يصبح واقعيًّا على نحو متفرد في هذه اللحظة.»

توقف عن الحديث وأجالَ نظره بتسلط في جميع أنحاء الغرفة مرةً أخرى. وجدت أليس نفسها معجبة على نحو غريب بأسلوبه السُّلطوي على الرغم من ملابسه الداخلية الأرجوانية اللون. «على سبيل المثال، عندما ننظر إلى الملابس الإمبراطورية الجديدة الرائعة، فإننا بالطبع نرصد ارتداءنا لملابس مذهلة.» نظر إلى إلى أسفل منه وفجأة أصبح مكسوًّا من رأسه إلى أخمص قدميه بثيابٍ فاخِرة. كان مِعطَفُه وصدارته مكسوَّين بتطريزٍ رائع الجمال، كما كان يرتدي رداءً فضفاضًا من القطيفة زُيِّنت حوافُّه بفروِ حيوان القاقم. «والآن أصبح من الممكن تصوُّر أنه عندما يتحول انتباهنا عن ثيابنا فربما تصبح أقل

واقعية مما يُمكن رؤيته الآن، لكن إن حدث هذا فإننا الآن قد رصدناها، وأصبح من الممكن للجميع رؤيتها ومعرفة أنها من أجود الأنواع، كما هي عليه في الواقع.»

رفَع الإمبراطور رأسه مرةً أخرى ونظر إلى الفصل. اهتمت أليس للغاية بملاحظة أنه على الرغم من أن رصده للملابس أكَّد بالكامل على شكلها الفخم، فبمجرد أن نظر بعيدًا أصبحت تدريجيًّا مبهمة المعالم مرةً أخرى، وبدأت تظهر ملابسه الداخلية الأنيقة الموقَّعة بالحروف الأولى من اسمه خلالها.

«هذه إذن هي نظريتُنا؛ فالعالم المادي بأكملِه تحكمُه قوانين ميكانيكا الكم، لكن العقل البشري خارج العالم المادِّي ولا يخضع لمثل هذه القيود. فنحن نملك القدرة على رؤية الأشياء بأسلوبٍ استثنائي؛ فلا يُمكننا اختيار ما نراه، لكن ما نراه بالفعل يُصبح واقعًا في العالم، على الأقل في الوقت الذي نرصدُه فيه. وعندما ننتهي من عملية الرصد يُمكن للعالم بالتأكيد الدخول مرةً أخرى في الاختلاط المعتاد للحالات فيه.»

توقَّفَ ونظَرَ حوله بأسلوب ينمُّ عن الرضا. قال المعلم: «شكرًا لك على كلمتك المُثيرة للإعجاب؛ فقد كان هذا مُثيرًا للغاية، هل لدى أي منكم أيَّ سؤال؟»

وجدت أليس أن لديها سؤالًا، فربما أثَّر فيها المناخ العام للمدرسة في النهاية، فرفعت يدها. قال المعلم مشيرًا إليها: «نعم، ما هو السؤال الذي تودِّين طرحه؟»

قالت أليس: «ثمةَ شيء واحد لم أفهمه.» (لم يكن هذا صحيحًا تمامًا إذ كانت توجد أشياء كثيرة لم تكن تفهمها، وكان عدد هذه الأشياء يتزايد بمعدَّلٍ خطير، لكن كان ثمة شيء واحد على وجه الخصوص أرادت أن تسأل عنه.) «لقد قلتَ إن العالم يكن في المعتاد خليطًا غريبًا من الحالات المُختلِفة، ولكنه يُختزَل في حالة واحدة متفرِّدة عندما يحدث وتنظر إليه، في وعي وإدراك. أفترض إذن أنَّ أيَّ شخص في إمكانه أن يجعل شيئًا ما يُصبح واقعًا بهذه الطريقة، وعليه ماذا بشأن عقول الناس الآخرين؟»

أجاب الإمبراطور وقد فقَد أعصابه: «نحن لا نعتقد أننا نفهم ما تعنيه.» لكن المعلِّم تدخَّل عند هذه النقطة.

«ربما يُمكنُني توضيح سؤال الآنسة الصغيرة. كنا نتحدَّث من قبل عن الإلكترونات التي تعبُر من خلال الشقَّين. لنفترض أني أقدمتُ على التقاط صورة فوتوغرافية يظهر فيها الإلكترون في أثناء عبوره من خلال الشقين. فإذا أخذت بكلامك، فأنت تقرُّ بأن الصورة الفوتوغرافية بينما قد تُظهر الإلكترون في أيٍّ من الشقين، سيكون عليها أن تُظهره أيضًا في كلا الشقَّين. إنَّ اللوح الفوتوغرافي ليس له عقلٌ واعٍ ولا يُملك القدرة

على اختزال الدالة الموجية، ولهذا سيظهر التراكب الكَمي لصورتَين مختلفتَين في الفيلم الفوتوغرافي. والآن لنفترض أني أردتُ عمل عدد من النسخ من هذه الصورة، بالتأكيد دون النظر في أيٍّ منها. فهل تقول إن كل نسخة مطبوعة منها ستَحتوي الآن أيضًا على مزيج من صور مُختلِفة، كلٌّ منهما يتوافَق مع الشق الذي يُحتمَل أن يكون الإلكترون قد مرَّ من خلاله؟»

ردَّ الإمبراطور في حرص: «أجل، نحن نَعتقِد أن هذا ما سيحدث.»

«إنْ حدث هذا ووُزِّعت النسخ المطبوعة على أناس مُختلفين، فإن أول فرد يفتح ظرفه وينظر إلى الصورة سيتسبَّب في أن تُصبح صورة واحدة من المزيج هي الصورة الواقعية ويتلاشَى كلُّ البقية؟» أيد الإمبراطور الكلام مجدَّدًا في حرص. «ولكن في هذه الحالة فإن جميع الصور الفوتوغرافية التي تلقاها الأفراد الآخَرُون سيتحتَّم اختزالها إلى الصورة نفسها، حتى على الرغم من كونها في مدنٍ مختلفة تبعد بعضها عن بعض أميالًا. نحن نعلم من خبرتنا أنَّ نُسخَ أي صورة فوتوغرافية تُظهر نفس الشيء الموجود في الصورة الأصلية، وإذا كان نظر أول شخصٍ إلى نسخته هو السبب في تحوُّل إحدى الاحتمالات إلى حقيقة واقعية دون غيره، فمِن المحتمَل أن يُؤثِّر هذا الفعل على جميع النسخ الأخرى، ذلك لأنها يجب أن تتَّفق جميعها تباعًا مع الصورة الأولى. وعلى ذلك فإن نظر شخص واحد فقط إلى نسخة من الصورة الفوتوغرافية في إحدى المدن سيجعل جميع النسخ الأخرى في المدن الأخرى في جميع أنحاء العالم تتغيَّر فجأة ليظهر فيها الشيء ذاته. سيتحوَّل الأمر إلى سباق من نوع خاص؛ إذ إن أول شخصٍ يفتح الظرف هو الذي يُحدِّد الصورة التي ستظهر في جميع النسخ المطبوعة من الصورة الفوتوغرافية لبقية الناس قبل أن يفتحوا الأظرف.» ثم أنهى حديثه قائلًا: «أعتقد أن هذا ما كانت تعنيه السيدة الصغيرة.»

ردَّ الإمبراطور: «بطبيعة الحال إن وجهة النظر هذه لن تُمثِّل أي مشكلة في حالتنا؛ وهذا لأنه لا يُفترض أن ينظر شخص ما إلى الصورة الفوتوغرافية هذه قبل أن نفحصها نحن أولًا. ومع ذلك فنحن نرى أن هذه الحالة يُمكِن أن تظهر بين الناس في الطبقات الأدنى، وفي هذه الحالة سيكون الوضع بالفعل كما وصفته.»

اندهشت أليس للغاية من تقبُّلها لمثل هذا الجدل السخيف لدرجة أنها لم تُلاحظ عودة الإمبراطور إلى مقعده ونهوض عَرُوس البحر الصغيرة ووقوفها أمامهم. لم تستطع عروس البحر الوقوف أمام الفصل، بسبب عدم وجود أي أقدام لديها، ولهذا جلست على منضدة المعلِّم، تهزُّ ذيلَها أمامها. عادت أليس إلى الانتباه مرةً أخرى عندما بدأت عروس البحر في الكلام.

نظرية عروس البحر الصغيرة (العوالم المتعددة)

استهلَّت عروس البحر حديثها بصوتٍ موسيقيٍّ انسيابي فقالت: «كما تعرفون فأنا مخلوقة أنتمي إلى عالَمين؛ فأنا أعيش في البحر وكذلك على البر. لكن هذا لا يُضاهي بأي حال من الأحوال أعداد العوالم التي نسكنها جميعًا، فنحن جميعًا نعيش في عوالم كثيرة، كثيرة للغاية.»

«أخبرنا المتحدِّث السابق بأن قوانين الكَم تَنطبق على العالم بأكمله، باستثناء عقول الناس الذين يعيشون فيه. أما أنا فأقول لكم إنها تَنطبِق على العالم بأكمله، وعلى كل شيء فيه. فلا توجد حدود لفكرة التراكب الكَمِّي للحالات. فعندما ينظر الراصد إلى تراكب الحالات الكَميَّة فنتوقع أن يرى جميع التأثيرات المتوافِقة مع اختيار الحالات الموجودة. وهذا ما يحدث بالفعل؛ فيرى راصدٌ واحدٌ كافة النتائج، أو بالأحرى يكون الراصد نفسه في وضع تراكب كَمي لحالات مُختلِفة، وكل حالة من حالات الراصد قد رأتِ النتيجة التي تتماشى مع واحدة من الحالات في المزيج الأصلي. فببساطة تتوسَّع كل حالة لتشمل الراصد في فعل رؤيته لتلك الحالة الخاصة.

لا تبدو الأمور على هذا النحو بالنسبة إلينا، ولكن هذا بسبب عدم دراية الحالات المختلِفة للراصد بعضها ببعض. فعندما يمر إلكترون عبر شاشة بها شقان، فإنه إما يمرُّ جهة اليمين أو جهة اليسار. وما ترصد حدوثه يكون بمحضِ الصدفة التامة. فمن المُمكن أن ترى أن الإلكترون قد اتجه يسارًا، لكن سيرى جانب آخر منك أنه قد اتَّجه يمينًا. ففي اللحظة التي ترصد الإلكترون فيها تنقسم أنت نفسك إلى كيانين، واحدٍ لكل نتيجة محتمَلة الحدوث. وإن لم يجتمع هذان الكيانان معًا مرةً أخرى، فإن كلًّا منهما يَبقى غير مدرك على الإطلاق لوجود الآخر. فقد انقسم العالم إلى عالَمين مع نسختَين مختلفتَين بعض الشيء منك. وبالتأكيد حين تتحدَّث هذه النسخ المختلفة منك مع أناس آخرين فلا بد من وجود نسخ مُختلِفة من هؤلاء أيضًا، وعليه سيحدث انقسام في الكون بأكمله. في هذه الحالة ينقسم الكون إلى اثنَين، لكنه ينقسم إلى عدد أكبر من النسخ عند إجراء رصد أكثر تعقيدًا.»

لم تستطع أليس أن تمنع نفسها من التعليق على الأمور، فقاطعت استرسال عروس البحر في حديثها وقالت: «لكن بالتأكيد فإن هذا يحدث في أغلب الأحيان.»

ردَّت عروس البحر في هدوء: «إنه يحدث طوال الوقت، فكلما وُجِدَ موقف يُمكن للقياس فيه أن يؤدِّيَ إلى نتائج مُختلفة، فإن كافة النتائج الممكنة تتعرَّض للرصد، وسينقسم العالم إلى العدد المناسب من النسخ.»

«وفي أغلب الأحيان تبقى العوالم المنقسِمة مُنفصِلة، وتتباعد دون أن يدرك بعضها وجود البعض، ولكن في بعض الأحيان تعود لتَلتقي بعضها ببعض مجدَّدًا في مرحلة ما وحينها تُعطي تأثيرات تداخُل. إن ما يُبيِّن إمكانية وجود هذه الحالات المختلفة معًا، ويؤكِّدها أيضًا، هو وجود تأثيرات التداخُل فيما بينها.»

توقفَت عروس البحر عن الكلام وجلسَت تُصفِّف خصل شعرها الطويل التي لا تُعدُّ ولا تُحصى، المُنسدِلة على كتفها الواحدة إلى جوار الأخرى لكنَّها منفصِلة.

اعترضَت أليس قائلة: «لا بد أن هذا يعني وجود عدد لا حصر له من الأكوان. فعلى هذا النحو سيُوجد عدد من الأكوان بعدد حبات الرمال على كلِّ شواطئ الكرة الأرضية.»

ردَّت عروس البحر في استخفاف: «حسنًا، سيوجد أكثر من هذا بكثير، بكثير جدًّا!» ثم استمرَّت في التكرار كما لو أنها تحلم: «أكثر بكثير، بكثير! بكثير، بكثير، بكثير، بكثير …»

قاطعها المعلم: «إنَّ هذه النظرية لها ميزة، وهي أنها تكون مُقتصِدة مع الافتراضات، ولكنَّها تبالغ كثيرًا فيما يتعلَّق بالأكوان.» انتقل المعلم إلى طلب متحدِّث جديد، وكان هذه المرة فرخ البط القبيح، الذي كان عليه الوقوف فوق منضدة المعلم كي يصبح مرئيًّا بصورة أوضح.

نظرية فرخ البط القبيح (كل الأمور معقدة للغاية)

بدأ فرخ البط كلمته، ولاحظت أليس أنه بالإضافة إلى قبح مظهره الشديد، فإنه يبدو غاضبًا للغاية أيضًا. كانت كلماته مليئة بالبقبقة والوقوقة حتى إنه كان من الصعب على أليس فهم ما يقوله. وعلى قدر ما استطاعت أن تفهم كان يقول إن التراكب الكَمي للحالات المختلِفة يَنطبِق فقط على النُّظُم الصغيرة إلى حدٍّ ما، التي تحتوي على مجرَّد عدد قليل من الإلكترونات أو الذرات. قال إن على المرء تقرير أن النُّظُم تكون دومًا في مزيج من الحالات وهذا بسبب حدوث التداخل، وهذا لأن الحالة المنفرِدة المتفرِّدة لن تجد أي شيء لتتداخل معه.

قال أيضًا إن المرء لا يعرف بالفعل إن كان التداخل يحدث للأجسام التي تحتوي على جسيمات كثيرة. فالناس تعرف أن التداخل، وبالتالي التراكُب الكَمي للحالات، يُمكن أن يحدث لمجموعات قليلة من الجسيمات، ولذلك يعتقدون أن الشيء نفسه يجب أن يَنطبِق على الأشياء المعقَّدة، مثل فروخ البط. وسيتعرض للوقوقة إذا صَدَّق ذلك.

واصل حديثه قائلًا إن فرخ البط يحتوي على كثير من ذرات الوقوقة، وقبل أن تتداخَل أي من الحالات المتراكبة كَميًّا، يجب أن تجتمع جميع الذرات في كل حالة منفصلة بالضبط مع الذرة المناسبة في الحالات الأخرى. ويوجد كثير للغاية من الذرات التي لا تُصدِر وقوقة متشابهة. فيمكن لأي تأثيرات أن تتعادل ولن نستطيع رؤية أي نتيجة نهائية. وعندها تساءل إذن كيف يُمكن لأي شخص التأكد من أن فروخ البط تكون دائمًا في تراكب كَمِّي للحالات؟ أجبني إذا كنت شديد الذكاء كما تدَّعي. فكل هذا التراكب الكَمي للحالات جيد للغاية وينطبق على جسيمات قليلة في المرة الواحدة، لكنه يتوقَّف عن العمل بالنسبة إلى فروخ البط.

واصل حديثه قائلًا إنه يعرف جيدًا عندما يرى شيئًا ما أو لا يراه. فهو يعرف أنه لم يكن في أيِّ تراكب كَمِّي للحالات، وإنما هو في حالة واحدة فقط من سوء الحظ. أكمل حديثه بقوة فقال إنه لذلك عندما تغيَّر كان تغيُّره في الواقع من حالة واحدة محدَّدة إلى أخرى. كما كان التغيُّر لا يُمكن عكسه وكان مجالًا للعودة إلى الارتباط مع حالات أخرى. استنتج أن لا شيء بإمكانه أن يتداخل معه. وعند هذا الحد أصبحت وقوقتُه شديدة للغاية لدرجة أن أليس لم تعدْ قادرةً على متابعة حديثه على الإطلاق، ولم تكن تَندهِش عندما أصبح غاضبًا للغاية، لدرجة أنه سقط من فوق المنضدة، ولم تعدْ تراه.

سادَت لحظة من الصمت، انتهت مع ظهور رأس رشيقة جميلة وطويلة من خلف المكتب، تبعها ظهور جسم مغطًّى بالريش الأبيض في بياض الثلج؛ لقد كانت بجعة.

صاحت أليس: «يا لجَمالها! هل يُمكنني أن أمرِّر يدي عليكِ؟»

أصدرت البجعة صوتًا بشراسة نحو أليس ورفرفت بجناحيها في تصرُّف ينمُّ عن الشعور بالتهديد. رأت أليس أنه على الرغم من أن ما تعرَّضَت له من تغيير كان بالتأكيد لا يُمكن عكس تأثيره، فإنه لا يبدو أن طبعها قد تغيَّر كثيرًا.

في تلك اللحظة كان هناك اضطراب في نهاية الفصل وسمعت أليس صوتًا يصيح: «أوقف هذه التمثيلية المصطنَعة، أنتم جميعًا مُخطئون!» نظرت عبر الفصل ورأت شخصًا طويلًا، يُهروِل بخطًى واسعة غاضبة في الفراغات بين المقاعد. لقد كان الميكانيكي الكلاسيكي. كان يعرقل تقدُّمه بشكلٍ كبير كونه في الحقيقة يحمل الآلة الخاصة بلعبة الكرة والدبابيس، التي كانت تُشبه إلى حدٍّ كبير تلك التي رأتها أليس من قبل في المقاهي. (من المحتمَل أن هذه الآلة توجد بصورة أكبر في الحانات لكن أليس بالتأكيد كانت صغيرة للغاية كي تكون قد رأتها في هذه الأماكن.)

نظرية الميكانيكي الكلاسيكي (عجلات داخل عجلات)

سار الميكانيكي الكلاسيكي إلى مقدمة الحجرة ووضع آلته بجوار منضدَة المعلِّم. كان عليها مُلصَق مكتوب عليه «مُعترض الإلكترون» ولها شكل طاولة منحدِرة مع شقَّين في أعلاها، من خلالهما تُقذف الجسيمات ويوجد صفٌّ من الجيوب على طول القاع، تحمل علاماتٍ مكتوب عليها «فوز» و«عدم فوز» بالتبادُل. وعلى الرغم من أن سطح الطاولة كان بطلاءٍ لامع، فإنه كان يخلو على نحو غريب من المجموعة المعتادة من العوائق والحواجز التي كانت أليس قد رأتها من قبل في آلات لعبة الكرة والدبابيس.

قال الميكانيكي الكلاسيكي في حزم: «أنتم جميعًا تخدعون أنفسكم. لقد فحصتُ هذه الآلة بعناية، والتي هي في الأساس عبارة عن جهازٍ عاديٍّ لتداخل الإلكترونات عبر شقَّين، وأعتقد أني قد أدركتُ حقيقة ما يحدث هنا.»

استطاعت أليس أن ترى أنه على الرغم من بهرجة زخرفة هذه الآلة، فإنها في الواقع كانت نسخةً مصغَّرةً من التجربة التي رأتْها في حجرة الأفكار لدى الميكانيكيْين. أوضح الميكانيكي الكلاسيكي سريعًا طريقة عملها من خلال إطلاق تدفُّق من الإلكترونات عبر الشقَّين. على الأقل افترضَت أليس أن هذه الإلكترونات لا بد أن تكون قد جاءت عبر هذَين الشقَّين؛ إذ إنهما المكانان الوحيدان الموجودان، على الرغم من أنها لم تكن قادِرةً على رؤية مكان الإلكترونات الفعلي بوضوح حتى تسجل وصولها على طول قاع المنضدة. وكما أصبحَت أليس تتوقَّع الآن فإن الإلكترونات تكدَّسَت في سلسلة من التجمُّعات، مع وجود فجوات بين تلك التجمُّعات حيث لا يُمكن اكتشاف سوى عدد قليل للغاية منها. اندهشت أليس حين رأت أن هذه الفجوات في نمط التداخل تتوافَق للغاية مع الجيوب التي تحمل علامة «فوز».

«أنتم ترون أن التداخُل قد حدث وقد تُجادِلُون بأن هذا يُشير إلى أن الإلكترونات قد مرَّ كلٌّ منها بطريقةٍ ما عبر كلا الشقَّين، بحيث يصدر اجتماع السعات من كلا الشقين نمط التداخل الذي نراه. يمكنني إخباركم الآن بأن كل واحد من هذه الإلكترونات في الحقيقة يمر عبر شق واحد فقط بطريقة مُقنعة للغاية. أما التداخل فيحدث نتيجةً لمتغيرات خفية!»

وجدت أليس أنه من الصعب للغاية متابعة ما حدث بالضبط عند تلك المرحلة. وكان أفضل ما استطاعت قوله بعد هذا أن الميكانيكي الكلاسيكي بدا وكأنه قد سحب غطاءً

للغبار من طاولة لعبة الكرة والدبابيس لم يكن موجودًا من قبل على ما يبدو. وأيًّا كان ما حدث، فقد رأت أليس سطح المنضدة وقد أصبح مغطًّى بأنماط من الحوافِّ العميقة والنتوءات التي تخرج من الشقَّين. هتف الميكانيكي: «انظروا، المتغيِّرات الخفية!»

قالت أليس وهي تنظر باستهجان إلى السطح المعقَّد الواضح أمامها: «إنها ليست خفية على الإطلاق!»

بدأ الميكانيكي الكلاسيكي حديثه متجاهلًا بوضوح ملحوظة أليس: «تتلخَّص وجهة نظري في أن الإلكترونات والجسيمات الأخرى تتصرَّف على نحوٍ منطقيٍّ للغاية وكلاسيكي تمامًا، تشبه في ذلك إلى حد كبير الجسيمات التي آلَفُها في العالم الكلاسيكي. الاختلاف الوحيد هنا أنها تتأثَّر أيضًا بقوة كَميَّة خاصة أو موجة دليلية بالإضافة إلى تأثُّرها بالقوى العادية التي تؤثر في الجسيمات. وهذا يسبب التأثيرات الغريبة التي تُفسِّرُون أنها تحدث نتيجةً للتداخل. وفي عرضي التوضيحي هذا الذي استخدمتُ فيه آلة الكرة والدبابيس للإلكترونات هنا فإن كل إلكترون يمرُّ بالفعل عبر أحد الشقَّين. وبعد هذا يتحرَّك فوق الطاولة بأسلوب مقبول ومتوقَّع. وأي عشوائية في النظام تنشأ من السرعات والاتجاهات المختلِفة للإلكترونات التي كانت موجودةً لديها من البداية. وعندما تَعبُر الإلكترونات فوق الانخفاضات التي ترونها هنا في الجهد الكَمِّي، تعمل القوة الكَميَّة على تحريف مسارها، مثل عجلة دراجة تَنزلِق على سكة حديدية، وهكذا يَنتهي الحال بتكتل معظم الإلكترونات في تجمُّعات. وينتج عن هذا ما تُطلقون عليه اسم تأثيرات التداخُل.»

قال المعلم: «حسنًا، إنها بالتأكيد نظرية مُثيرة للاهتمام للغاية، في الحقيقة مُثيرة للاهتمام كثيرًا. ومع ذلك، إذا لم تمانع في قولي هذا، يبدو أنك قد تخلَّصت من الصعوبات التي واجهتها بشأن سلوك الإلكترونات على حساب سلوك خاصٍّ جدًّا للجهد الكَمِّي.»

ولأن القوة الكَميَّة لديك عليها أن تُصدر التأثيرات التي نقول إنها تَنتج عن التداخُل، فلا بد أن تتأثر بالأشياء التي تحدث في أماكن مختلفة تمامًا. فإذا فُتح شقٌّ ثالث في طاولتك، فإن القوى الكَميَّة المبذولة على الجسيمات ستتغيَّر، حتى وإن لم يمرَّ أيٌّ من الجسيمات عبر هذا الثقب. لا بد من حدوث هذا لأن التداخل في وجود ثلاثة شقوق يَختلِف عنه عند وجود شقين فقط، وعلى قوتك الكَميَّة أن تولد جميع تأثيرات التداخُل تلك التي نَعلم بحدوثها. علاوةً على هذا، ففي الحقيقة يجب أن يكون الجهد الكَمِّي لديك، أو شبكة القوى الكَميَّة عندك، معقَّدة للغاية. في هذه النظرية، لا يوجد لديك شيء يُشبه اختزال الدوال الموجية الذي يحدث في نظرية الكَم العادية، ولذلك لا بد أن يتأثر الجهد لديك

بكافة احتمالات كل شيء، التي من الممكن أن تكون قد حدثت على الإطلاق. إن هذا يُشبه نظرية الأكوان المتعدِّدة في هذا الشأن. فأنت تقول في نظريتك إن ما يُرصَد سيَعتمِد على الطريقة التي قُدِّر للإلكترونات التحرُّك بها عند تعرُّضها لتأثير موجتك الدليلية، لكن الموجة الدليلية نفسها سوف تحتفظ بمعلومات من جميع الأشياء المُمكنة التي يحتمل أن تكون قد حدثَت ولا يوجد سبيل لإزالتها. ويتعيَّن على موجتك أن تكون معقَّدة لأقصى حد، مثل مجموع كل العوالم في نظرية العوالم المتعدِّدة، حتى وإن لم يؤثر أغلبها في أيِّ جسيمات في معظم الوقت.

في نظريتك، تؤثر الموجة الدليلية فيما تفعله الجسيمات، ولكن الطريقة التي تتحرَّك بها الجسيمات المُنفرِدة فعليًّا ليس لها أي تأثير على الموجة. فهذا يعتمد فقط على ما قد تفعله الجسيمات. فلا يوجد أيُّ اتساق في الفعل وردِّ الفعل بين الجسيمات والموجة الدليلية. ولا بد أن هذا يُمثل مصدر قلق لك بوصفك ميكانيكيًّا كلاسيكيًّا؛ فأنت لن ترغب في مخالفة قانون نيوتن الذي ينصُّ على أن الفعل ورد الفعل دائمًا متساويان، أليس كذلك؟»

توجد «حلول» مختلفة لمعضِلة القياس لكن لا يوجد اتفاق عالَمي على أيٍّ منها. عمليًّا، تُستخدم ميكانيكا الكَم في المعتاد لحساب السعات، ومن ثمَّ الاحتمالات المختلِفة لنظام فيزيائي ما، ثم استخدام تلك الاحتِمالات للتنبؤ بسلوك مجموعات كبيرة من النُّظُم الذرية البسيطة، دون القلق كثيرًا بشأن ما سيحدث لنظام واحدٍ منها. ويُمكن مقارنة نتائج هذه المجموعات بالقياسات، ومرةً أخرى دون القلق كثيرًا بشأن الطريقة التي من الممكن أن تكون قد أُجريت بها هذه القياسات.

إنَّ الاستجابة العملية لهذه المعضلة هي أن «تُغلق عينيك وتجري الحسابات». فمن الممكن أن يكون تفسير ميكانيكا الكَم صعبًا، ولكن لا يوجد أدنى شك في أنها تعمل بكفاءة.

في هذه اللحظة جاء ميكانيكي الكَم، الذي كان قد تبع الميكانيكي الكلاسيكي ودخل خلفَه إلى الغرفة ولكنَّه بقي في الخلفية، وتقدَّم إلى الأمام بهدوء وأمسك بزميله من ذراعه. ثم قال له: «تعالَ معي، فأنت بالتأكيد لا تُريد أن تتورَّط في تهمة الهرطقة الكلاسيكية بازدراء قوانين نيوتن. فكل هذا النقاش الأكاديمي عما يُحتمَل أو لا يحتمل أن تفعله الإلكترونات ليس مناسبًا لأمثالنا. فنحن ميكانيكيون. وبوصفي ميكانيكيًّا فإن اهتمامي الأساسي ينصبُّ على أن تُطبق قوانين الكَم وتُطبق بنجاح. فعند حساب سعة إحدى

العمليات، أعرف الشيء المحتمَل حدوثه. فهذا يوضِّح لي احتمالات النتائج المختلفة، بدقة ووضوح. فليس من اختصاصي القلق بشأن ما الذي تفعله الإلكترونات عندما لا أنظر إليها طالَما أستطيع معرفة ما المحتمَل أن تفعله عندما أنظر إليها. فهذا ما أتقاضى أجرًا عليه.»

قاد زميله الخانع بهدوء إلى أحد جوانب الغُرفة، ثم التفَت إلى أليس وسألها: «هل تعلمتِ عن القياسات والراصدين القدر الذي كنت ترغبين فيه؟»

بدأت أليس: «حسنًا، في الحقيقة أشعر بقدر أكبر من الارتباك والتشوُّش عما كنت عليه قبل أن آتي إلى هنا.»

قاطعها ميكانيكي الكَم في حسم: «صحيح، كنت أتوقَّع هذا. لقد تعلمتِ بالقدر الذي تُريدينَه، تعالَي معي الآن وشاهِدي بعض نتائج نظرية الكَم، دعيني أُريكِ بعض ملامح بلاد الكَم.»

هوامش

(١) تكمن «معضلة القياس» في أن اختيار احتمال واحد واختزال كل السعات الأخرى يكون مختلفًا تمامًا عن بقية السلوك الكَمِّي وليس من الواضح كيف يَحدُث هذا. ويمكن التعبير عن هذه المعضلة بمنتهى البساطة في السؤال التالي: كيف يستطيع المرء قياس أي شيء على الإطلاق؟ ترى وجهة النظر التقليدية في ميكانيكا الكَم أنه عند وجود احتمالات متعدِّدة فستوجد سعة لكل احتمال منها، والسَّعة الكلية للنظام تكون عبارة عن مجموع هذه السعات أو التراكب الكَمِّي لها جميعًا. على سبيل المثال، إذا كان ثمَّة الكثير من الشقوق التي يُمكن لجُسَيم أن يمرَّ عبرها، إذن فإن السعة الكلية للنظام ستتضمَّن سعة كل شق، ويُمكن حدوث تداخُل بين السعات الفردية. أما إذا تُرِك النظام ليعمل وحده دون تدخل، فسوف تتغيَّر السعات بطريقة سلسة ومتوقَّعة. وحين تجري قياسًا في نظامٍ مجموعُ سعاته مُتوافِق مع القيم المختلِفة المُمكنة للكمية المقيسَة، فإن النظرية تنصُّ على أنك — مع بعض الاحتمالات — سوف ترصُد إحدى هذه القيم. وبعد القياس على الفور تُصبح القيمة كمية معروفة (لأنكِ قِستها للتو)، وعليه فإن مجموع الحالات المستقرَّة (انظر مربع الملاحظة الهامشية الأول في الفصل الخامس) يُختزل في حالة واحدة فقط، وهي القيمة الفعلية التي قِستها للتو.

(٢) إنَّ الوصف التقليدي للقياس في ميكانيكا الكَم له عيبٌ يتمثَّل في أن عملية القياس لا تبدو متَّسقة على الإطلاق مع بقية محتوى نظرية الكَم. فإن كانت نظرية الكَم هي النظرية المناسبة للذرات — كما يبدو — وإذا كان الكون بأكمله يتكوَّن من ذرات، إذن فمن المفترَض أن تَنطبِق نظرية الكَم على الكون بأكمله وعلى كافة الأشياء الموجودة فيه، بما في ذلك أجهزة القياس. وعندما يُمكن أن يُعطيَ نظام كَمِّي قيمًا مختلِفة فإن سعتها تتمثَّل في مجموع الحالات المقابلة لكل قيمة محتملة. وعندما يكون جهاز القياس هو نفسه نظامًا كَميًّا وتوجد قيم مختلفة يُمكنُه قياسها، فلا يحقَّ له اختيار مجرَّد قيمة واحدة منها. فلا بد له أن يكون في حالة هي مجموع سعات كافة النتائج المحتمَلة التي يُمكنه قياسها، ولا توجد مشاهدة واحدة يُمكن رصدها.

يبدو أن الاستنتاج الذي يُمكن استخلاصه مما سبق هو أحد شيئين:

(أ) نحن فعليًّا لا نَرصُد أي شيء على الإطلاق.

أو أنَّ:

(ب) نظرية الكَم كلُّها هراء.

في الحقيقة لا يمكن دعم أيٍّ من الاستنتاجين (على الرغم من أن الاستنتاج (ب) قد يبدو مُغريًا). نحن نعلم جيدًا أننا نرصد الأشياء، ولكننا لا نستطيع إنكار أن نظرية الكَم تحقق معدَّل نجاح غير منقوص في وصف كافة المشاهدات بنجاح، وهو ما لا تماثلها فيه أي نظرية أخرى. لذلك لا يُمكننا التخلي عنها بسهولة.

الفصل الخامس

أكاديمية فيرمي-بَوز

سارت أليس مع ميكانيكي الكَم على طول الطريق مُبتعدَين عن المدرسة. ومع استمرارهما في السير ازداد الطريق اتساعًا وتغيَّر تدريجيًّا ليُصبحَ ممهدًا أكثر.

قالت أليس: «أعتقد أن أغرب شيء أريتَني إياه حتى الآن كان طريقة حصولك على تأثيرات التداخل تلك، حتى مع وجود إلكترون واحد فقط. هل صحيح إذن أنه لا فارق من وجود إلكترونات كثيرة أو إلكترون واحد فقط؟»

«بالتأكيد، صحيح أنه يُمكنك رصد التداخُل سواء كان لديك إلكترونات عديدة أو إلكترون واحد في وقتٍ ما. ومع ذلك، لا يُمكنك القول إن هذا لا يُحدث فرقًا. فثمة بعض التأثيرات التي في إمكانك رؤيتُها فقط عند وجود الكثير من الإلكترونات، على سبيل المثال، مبدأ باولي ...»

قاطعته أليس: «حسنًا، لقد سمعتُ عنه. فقد سمعت الإلكترونات تتحدَّث عنه، عندما جئت إلى هنا في البداية، هلا أخبرتني ماذا يكون، من فضلك؟»

«إنه قاعدة تُطبق عند وجود عدد كبير من الجسيمات جميعها متشابهة، ومتماثلة تمامًا في كل شيء. وإذا كنتِ تودِّين معرفة المزيد عن هذا، فسيكون من الأفضل أن نَستشير القائمين على هذا المكان، بما أنه قد تصادَفَ مرورنا من هنا، فهم على دراية كبيرة بسلوك الجسيمات الكثيرة.»

نظرت أليس حولها عندما تفوَّه بهذه الكلمات، وبينما هما يتحدثان، وجدت أنهما قد وصَلا إلى جدار حجري مُرتفِع، يمتد على طول أحد جانبَي الطريق. ورأت أمامهما مباشرةً بوابة واسعة. فقد رأتْ بواباتٍ مُثيرة للإعجاب من الحديد المُطاوِع مفتوحة بين

عمودَين ضخمَين من الحجارة وقد رُسِم شعار النبالة في منتصف كلٍّ منهما. ورأت أليس في مكانٍ واضحٍ أعلى الحائط، على يمين البوابة، لوحًا خشبيًّا يحمل العبارة التالية:

أكاديمية فيرمي-بَوز

للإلكترونات والفوتونات.

وفي منتصَف البوابة وقف رجل مهيب، وضخم، وعظيم البنيان، وقد بدا مظهره أكثر ضخامة بعباءته الأكاديمية الفضفاضة وقبعة التخرُّج المربعة التي يرتديها. ويُزين جزءًا كبيرًا من وجهه المستدير المتورد شاربٌ كثيف وسوالف جانبية. كان يرتدي عدسةً مثبتةً على شريط أسود عريض في عين واحدة فقط متضررة من عينيه.

همس الميكانيكي في أذن أليس الأقرب إليه قائلًا: «هذا هو الرئيس هنا.»

أجابته أليس بنوع من الحدة، فقد أُخذَت على حين غرة بظهورِه المفاجئ: «هل تقصد مبدأ باولي الرئيس.»

غمغم الميكانيكي: «لا، لا، إنه عميد الأكاديمية، فمع أن مبدأ باولي بالطبع هو عماد الأكاديمية، فإن هذا هو عميدها.» تمنَّت أليس لو أنها لم تسأل.

عبرا الطريق وذهَبا باتجاه هذه الشخصية المهيبة. بدأ الميكانيكي كلامه: «عذرًا يا سيدي، هلا تفضَّلت وأخبرت صديقتي الصغيرة هنا شيئًا عن النُّظُم المتعدِّدة الجسيمات؟»

قال الرئيس بصوتٍ رخيم: «بكل تأكيد، بكل تأكيد. فنحن ليس لدينا أي عجز في الجسيمات هنا حقًّا، وسيُسعدني كثيرًا اصطحابكما في جولة عبر الأكاديمية.»

ماجت عباءته الفضفاضة حين استدار، ثم قادَهما في الطريق إلى الأكاديمية. وفي أثناء سيرهم في ممرِّ السيارات رأت أليس أجسامًا صغيرةً تَقفِز هنا وهناك بين الشجيرات. وفي إحدى المرات ظهر أحد هذه الأجسام فوق شجيرة وصنعَ تعبيراتٍ مضحكةً بوجهه، على الأقل هذا ما ظنَّته أليس. وكالمعتاد، كان من الصعب للغاية تحديد أي تفاصيل. قال العميد متذمرًا: «تجاهليه، فهذا مجرَّد إلكترون ثانوي.»

وصلوا إلى باب الأكاديمية التي كان مقرُّها نُزُلًا جليلًا قديمَ الطراز على غرار الطراز التيودوري إلى حدٍّ ما. قادهما العميد دون توقُّف عبر الباب الرئيسي إلى بهو المدخل المقبَّب وإلى الأعلى عبر سلالم منحوتة من الخشب. وفي أثناء سيرهم في المبنى، استطاعت

أليس رؤية أجسام صغيرة تَختبِئ خلف الدرابزين، وتقفز إلى داخل الحجرات وخارجها، وتركض في الممرات الجانبية مع اقترابهم منها. كرَّر العميد مقولته مرةً أخرى: «تجاهليه، إنه مجرَّد إلكترون ثانوي، أما الجسيمات فتتصرَّف كجُسيمات!»

احتجَّت أليس قائلة: «لكن، لا يُمكن أن يكون هذا إلكترونًا ثانويًّا إذا كنا قد رأيناه في ممرِّ السيارات. فبكلِّ تأكيد لا يُمكن أن يوجد جسيم واحد في كلا المكانَين.» ثم سألت ميكانيكي الكَم: «هل نحن بصدد الحديث عن شيء ما مُشابه لتلك الحالة عندما نجح الإلكترون في أن يمرَّ عبر كلا الثقبَين في تجربتك عن الشقِّ المزدوَج؟»

«لا، الأمر ليس كذلك، فهم لديهم بالفعل الكثير من الإلكترونات هنا، لكن ألا تُلاحظين أن جميع الإلكترونات يُشبه بعضها بعضًا، فهي متماثلة تمامًا، فلا توجد أي وسيلة لتمييز بعضها عن بعض، وعليه تكون جميعها بطبيعة الحال إلكترونًا ثانويًّا.»

أكَّد العميد على كلامه بأسلوب قاطع وهو يرشدهما إلى داخل مكتبه: «هذا صحيح، ودَعوني أقُل لكما إن هذه مشكلة. فربما تعرفان الصعوبة التي تُواجه المدرسين عند وجود توءم مُتماثل في مدرستهم، ولا يستطيعون التمييز بينهما. حسنًا أنا عندي المئات من الجسيمات المُتماثِلة تمامًا، وهذا يجعل من تسجيل الحضور والغياب كابوسًا، أنا أؤكِّد لكما.»

واصل حديثه قائلًا: «الإلكترونات ليست سيئة للغاية. فنحن فقط نعدُّها ثم نرى إن كان لدينا العدد الكُلي الصحيح أم لا. على الأقل عدد الإلكترونات يظلُّ كما هو، ولذلك نعرف العدد الذي يجب أن يكون لدينا، لكن بالنسبة إلى الفوتونات فحتى هذا لا ينطبق عليها. فكما تعلمين أن الفوتونات هي بوزونات، ولذلك فإن عددَها لا يظلُّ محفوظًا. فمن المُمكِن أن نبدأ فصلًا دراسيًّا — لنقل — بثلاثين ونحصل على خمسين أو أكثر في نهايته. أو من الممكن أن ينخفض العدد إلى أقل من عشرين، فمن الصعب التنبؤ بهذا. وهذا كله يجعل الأمر عسيرًا للغاية على هيئة التدريس.»

تنبَّهت أليس إلى كلمة جديدة في هذه العبارة، سألت في تفاؤل: «هل بإمكانكَ شرح هذا بعض الشيء؟ هلا تفضَّلت وأخبرتَني ما هو البوزون؟»

ازداد احمرارُ وجه العميد أكثر مما كان عليه من قبل وتكلم إلى الميكانيكي فقال: «أعتقد أن الأفضل أن تأخذَها إلى درس حقائق التناظر للمبتدئين، ألا تعتقد هذا؟ فهذا سيَشرح لها بالتأكيد كل شيء عن البوزونات والفرميونات.»

ردَّ الميكانيكي: «إنكَ مُحقٌّ، هيا يا أليس، أظن أن بإمكاني تذكُّر الطريق.»

سارا في ردهة إلى إحدى قاعات الدرس ودخلا إليها بالضبط عندما كان الدرس على وشك أن يبدأ.

قال المعلم: «انتباه من فضلكم، والآن كما تعلمون جيدًا، فأنتم جميعًا أيها الإلكترونات مُتماثلون تمامًا، وكذلك أنتم جميعًا أيها الفوتونات. وهذا يعني أن لا أحد في إمكانه أن يعرف إذا ما حلَّ أي اثنَين منكما محل الآخر. فيمكن لأي راصد أن يقول إنكم ربما تتبادلون الأماكن، وبالتأكيد قد يحدث هذا بدرجةٍ ما. أنتم تعرفون جميعًا أن لديكم دالةً موجية أو سعة مصاحِبة لكم، وأن هذه السعة ستُمثِّل تراكبًا كَميًّا لكل الأشياء التي من المحتمل أنكم تفعلونها. وبما أنه لا توجد أي طريقة لمعرفة الأشياء التي تفعلونها، فإنكم، كما تعلمون، تفعلون هذه الأشياء جميعها، أو على أيِّ حال توجد لديكم سعة لكل واحد منها. وعليه كما ترون، يكون من المستحيل — لأي مجموعة منكم — تحديد متى يحلُّ أي اثنين منكما محل الآخر، وهذا يعني أن الدالة الموجية الكلية ستكون عبارة عن تراكب لكل السعات التي يتبادلها أي زوج مختلف منكم. أرجو أن تكونوا جميعًا قد دوَّنتم هذا.»[1]

«والآن يُمكن حساب احتمال تسجيل أي رصد من خلال تربيع دالَّتكم الموجية، بمعنى ضرب الدالة الموجية في نفسها. وبما أنكم جميعًا مُتماثلون تمامًا فمن الواضح أنه عندما يتبادل أي اثنين منكم مكانيهما فلن يُحدث هذا أيَّ اختلاف ملحوظ، ولهذا فإن مربَّع دالَّتكم الموجية لا يُمكن أن يتغيَّر. فمن المُحتمَل أن يبدو الأمر كما لو أنه لم يَحدُث أي تغيير على الإطلاق. هل يستطيع أي منكم أن يُخبرَني ما الذي يُحتمَل أن يكون قد تغير؟»

رفع أحد الإلكترونات يدَه، أو على الأقل هذا ما افترضت أليس أنه قد حدث، فلم تكن تستطيع الرؤية بوضوح، وقال: «من فضلك يا سيدي، من المحتمَل أن تتغيَّر الإشارة.»

«جيد جدًّا، هذه إجابة مُمتازة، سأكتب في سجلِّك الدراسي أنك قد أجبت إجابة صحيحة للغاية، رغم أنني مع الأسف لا أستطيع تمييزك عن الآخَرين. أجل، فكما تَعرِفون إن سعاتكم ليس بالضرورة أن تكون موجَبة. فمن المحتمَل أن تكون موجَبة أو سالبة على السواء، وعليه من الممكن لسعتَين أن تُلغيَ كلٌّ منهما الأخرى عندما يُوجَد تداخُل. وهذا يعني أن ثمة حالتَين لن يتغير مربع سعتكم فيهما. ربما لا تتغيَّر السعة على الإطلاق عندما يتبادل اثنان منكما مكانيهما، وفي مثل هذه الحالة تكون الجسيمات بوزونات، مثلكم أيها الفوتونات. ومع ذلك يوجد احتمال آخر؛ فحين يتبادل اثنان منكما مكانيهما فإن السعة قد تنعكس. فهي تتغير ما بين الموجب والسالب. وفي مثل هذه الحالة يظل مربع السعة

موجبًا، ولا يتغير توزيع الاحتمالات، وذلك لأن ضرب السعة في نفسها سوف ينتج عنه عكسٌ للإشارة، ومن ثمَّ لا يَحدُث تغيُّر على الإطلاق. وهذا ما يحدث مع الفرميونات مثلكم أيها الإلكترونات. ولذا، تَندرج جميع الجسيمات تحت واحدة من هاتين الفئتين؛ فهي إما فرميونات أو بوزونات.»

«والآن، ربما تظنون أنه لا يهم كثيرًا إن كانت سعاتكم قد تبدلت وانعكست أم لا، خاصة وأن توزيع الاحتمالات يبقى كما هو دون تغيير، لكن في الحقيقة إن الأمر في غاية الأهمية، خاصة بالنسبة إلى الفرميونات. فالمسألة أنه إذا كان أي اثنين منكم في الحالة نفسها، بمعنى وجودهما في المكان ذاته وفعلهما الشيء نفسه، فإنهما إن تبادَلا الأماكن فلا يكون التغيُّر غير ملحوظ فحسب، بل لا يحدث فعليًّا أي تغيُّر على الإطلاق. وفي مثل هذه الحالة لا يتغيَّر توزيع الاحتمالات وكذلك لا تتغيَّر السعة. إن هذا لا يمثل أي مشكلة بالنسبة إلى البوزونات، ولكن بالنسبة إلى الفرميونات التي عليها دائمًا أن تعكس سعتها فإن هذا الوضع غير مسموح به. وينطبق على مثل هذه مبدأ باولي للاستبعاد، والذي ينصُّ على أنه من غير الممكن لاثنين من الفرميونات المتماثِلة أن يفعلا الشيء نفسه بالضبط، فلا بد لها جميعًا أن تكون في حالاتٍ مختلفة.»[٢]

فكما قلت: «لا تُوجد مشكلة على الإطلاق بالنسبة إلى البوزونات، فليس على سعاتهم أن تتغيَّر على الإطلاق عندما يتبادَل اثنان منها الأماكن، ولهذا من المحتمَل أن يكون الاثنان في الحالة نفسها. في الواقع بإمكاني أن أقول أيضًا إنهما لا يُحتمَل فقط أن يكونا في الحالة نفسها، بل إنهما يُحبِّذان دون جدل أن يكونا في الحالة نفسها. من الطبيعي عند وجود تراكب كَمي في الحالات المُختلِفة، ويحدث تربيع للسعة من أجل الحصول على احتمالية الرصد، أن تتعرَّض الحالات الفردية داخل الخليط إلى تربيع مُنفصِل، وتسهم بالقدر ذاته في الاحتمالية الكلية. فإذا كان لديك بوزونان في الحالة نفسها، فعند تربيع الاثنين تحصل على أربعة. فهكذا لم يسهم الاثنان بضِعف إسهام الواحد منها، بل بأربعة أمثاله. بل إنه إذا كان لديك ثلاثة جسيمات في الحالة نفسها، فإنها ستُسهم بمقدار أكبر من هذا. فتزيد الاحتمالية كثيرًا عند وجود عدد أكبر من البوزونات في حالة واحدة، ولهذا تَميل جميعها إلى اتخاذ الحالة نفسها طالَما كان ذلك ممكنًا، ويعرف هذا باسم «تكاثف البوزونات».

وهكذا أصبح من الواضح الفرق بين الفرميونات والبوزونات. فالفرميونات معتدة بفرديتها، فلا يفعل اثنان منها على الإطلاق الأمر نفسه، بينما البوزونات نزعتها عشائرية. فهي تحبُّ التجوُّل في مجموعات، حيث يفعل كلٌّ منها التصرُّف نفسه بالضبط مثل

الآخرين. وكما سيتبيَّن لكم لاحقًا إن مثل هذا السلوك وهذا التفاعل بينكم كنوعَين من الجسيمات هو المسئول عن طبيعة العالم.

ففي الواقع، بطرق شتَّى أنتم المسيطرون على العالم». عند هذه النقطة قاد ميكانيكي الكَم أليس إلى خارج قاعة الدرس، وقال لها: «وهكذا قد تعلَّمتِ مبدأ باولي؛ فهو يَقضي باستحالة أن يصدر عن اثنين من نفس نوع الفرميونات الفعل نفسه، وعليه لا يُمكنك العثور إلا على واحد فقط في كل حالة. ينطبق هذا المبدأ على جميع الفرميونات أيًّا كان نوعها، لكنه لا يَنطبِق على البوزونات. وهذا يَعني — من بين أشياء أخرى — أن عدد الفرميونات يجب ألا يتغيَّر. فلا يُمكن للفرميونات أن تظهر وتَختفي دون انضباط.»

قالت أليس: «أعتقد أنها يجب ألا تفعل هذا، فالأمر سيكون سخيفًا.»

«لا أظن أنه يُمكنكِ قول هذا؛ فإنَّ عدد البوزونات غير ثابت على الإطلاق، وهذا لأنها تُواصِل الظهور والاختفاء. فيُمكنكِ القول إن عدد الفرميونات يجب أن يكون محدَّدًا في حال وجود واحد منها فقط في كل حالة، وهذا لأن وجود عدد معين من الحالات المشغولة يفترض وجود العدد المعين نفسه من الفرميونات كي تشغل هذه الحالات. وهذا الأمر لا ينطبق على البوزونات، حيث من الممكن وجود أي عدد من البوزونات في أي حالة. ومن الناحية العمَلَية فإن عدد البوزونات ليس ثابتًا على الإطلاق.»

ثم قال فجأة في أثناء مرورهما: «إذا نظرتِ فقط عبر النافذة هنا، فإنكِ سترين بوضوح الفارق بين الفرميونات والبوزونات.»

حدَّقت أليس عبر النافذة ورأت مجموعة من الإلكترونات والفوتونات تتدرَّب في فناء الأكاديمية. كانت الفوتونات تُبلِي بلاءً حسنًا للغاية؛ إذ كانت تدور وتعكس اتجاهها في تناغُم تام، بلا أيِّ اختلافات بين أي منها. أما مجموعة الإلكترونات فقد كانت تتصرَّف بسلوك يدفع بوضوح مسئول التدريب نحو اليأس. فكان بعضها يسير نحو الأمام لكن بسرعات مُختلفة، والبعض كان يتحرَّك نحو اليمين ونحو اليسار، أو حتى يسير إلى الخلف. قليل منها كان يَقفز إلى أعلى وأسفل، أو يقف على يدَيه، وكان واحد منها مُستلقيًا على ظهره على الأرض محدقًا في السماء.

قال الميكانيكي وهو ينظر من فوق كتف أليس: «إنه في حالة أرضية وهي أدنى حالات الطاقة. أتوقَّع أن الإلكترونات الأخرى تتمنَّى لو تستطيع الانضمام إليه في هذه الحالة، لكنَّه لا يُسمح إلا لواحد منها فقط بالدخول في هذه الحالة. وبالطبع إن لم يكن اللفُّ المغزلي للإلكترون الآخر في اتجاه معاكس، فإن هذا كفيل بإحداث اختلاف كافٍ بينهما.

يُمكنكِ رؤية الفارق بين الفرميونات والبوزونات هنا بوضوح. إن الفوتونات من نوع البوزونات ولهذا من السهل عليها فعل الشيء ذاته. في الحقيقة إنها تحبِّذ بشدة أن تكون بعضها على شاكلة بعض، ولهذا فهي بارعة في المشي بخطًى مُنتظِمة. أما الإلكترونات، من ناحية أخرى، فهي فرميونات، وعليه يَمنع مبدأ باولي للاستبعاد أيَّ اثنين منها من أن يكونا في الحالة نفسها. ولهذا يتحتَّم عليها أن تتصرَّف كلٌّ منها على نحو مغاير للآخر.»

أبدَت أليس ملاحظتها: «إنك دائمًا تتحدَّث عن كون الإلكترونات في حالات. هلا شرحتَ لي ما هي الحالة؟»

أجابها الميكانيكي: «مرةً أخرى ستكون أفضل طريقة بالنِّسبة إليكِ أن تجلسي في أحد هذه الفصول هنا. فالأكاديمية تُدرس لقادة العالم؛ حيث إنها تُمثِّل التفاعُلات بين الإلكترونات والفوتونات التي تحكم العالم الفيزيائي بأكمله. وإذا كانوا سيَصيرون قادة العالم فمن الطبيعي أن يُضطرُّوا إلى حضور فصول فنِّ الحكم والإدارة. تعالَي معي ودَعينا نرَ واحدًا من هذه الفصول.»

قاد أليس إلى مبنًى ضخم مُنخفِض في الجزء الخلفي من الأكاديمية. وحين دخلا المبنى استطاعت أليس أن ترى أنه نوع من ورش العمل. كان يوجد عدد من الإلكترونات تعمل بعيدًا على مقاعدَ مختلفة. ذهبت أليس نحوها كي تنظر إلى مجموعة منها، كانت مشغولةً في نصبِ مجموعة من الأسوار حول حافة المقعد. استطاعَت أليس أن ترى أن ثمة تراكيب متنوعة على المقعَد، ومع تحريك الطلاب للأسوار حول المقعد تغيَّر شكل كل هذه التراكيب.

سألت أليس مرافقتَها: «ماذا يفعل هؤلاء؟»

«إنها تُشيد الشروط الحَديَّة للحالات. فإن الحالات تكون محكومة إلى حدٍّ كبير بالقيود التي تُحيط بها. فبوجهٍ عام، ما تستطيعين فعله يحكمه ما لا تستطيعين فعله وتعمل القيود على تحديد الحالات المُمكنة. إن الأمر أشبه إلى حدٍّ كبيرٍ بالنغمات التي يُمكن الحصول عليها من آلة الأرغن. فأي أنبوب طوله محدَّد لا يُمكنه إلا إصدار عدد محدود من النغمات. وإذا غيرنا طول أنبوب الأرغن فإن هذا من شأنه أن يُغيِّر النغمات الصادرة. تتحدَّد حالات الكَم من خلال السعة أو الدالة الموجية التي يُمكِن أن يحصل عليها النظام، وهذا يُشبه إلى حدٍّ كبير الموجة الصوتية لأنبوب الأرغن.»

«وكما اكتشفتِ بالفعل فعادةً لا يكون باستطاعة المرء تحديد ما يفعله الإلكترون فعليًّا؛ لأنه عند رصد هذا الإلكترون سيكون عليكِ من أجل التحقُّق اختيار سعة واحدة

محدَّدة واختزال السعات الأخرى إلى تلك السعة فقط. والوقت الوحيد الذي في إمكانك التيقُّن فيه من الإلكترون بالفعل هو عندما لا تكون له إلا سعة واحدة بدلًا من التراكب الكَمي، وعندما لا يُمكن للرصد الذي تجرينَه أن يُعطيَ سوى نتيجة واحدة. وفي هذه الحالة يكون احتمال رؤية هذه القيمة عبر قياسكِ هو مائة في المائة، ويكون احتمال رؤية أي قيمة أخرى صفرًا؛ فهي لن تحدث أبدًا. وعندما تجرين عملية الرصد فإنك ترَين النتيجة المتوقَّعة. وفي مثل هذه الحالة فإن اختزال السعة إلى تلك الخاصة بنتيجتك المرصودة لم يُحدِث أي اختلاف على الإطلاق؛ إذ إنكِ تكونين بالفعل في هذه الحالة. فالحالة هنا لا تتغيَّر بفعل الرصد، ويُطلق عليها «حالة مستقرة». والإلكترونات في هذا الفصل بصدد إنشاء حالاتٍ مستقرة.»

دارت أليس حول المنضدة، وهي تنظر إلى الحالات التي كانت الإلكترونات تنشئُها في براعة. بدَت لها كسلاسل من الصناديق، ثمانية صناديق في كل سلسلة. كان يوجد واحد منها كبيرٌ للغاية، وواحد أصغر قليلًا من ذلك الكبير، وستة صناديق مُتناهية الصغر لها تقريبًا الحجم نفسه. وصلت إلى أحد أركان المنضدة وأدهشها أن رأت أن الحالات قد تغيرت تمامًا. الآن أصبح لها شكل حوامل العرض، أشبه بحوامل عرض الكعك، ترتكز على قوائم طويلة. كان يوجد اثنان أعرض من الآخرين، وأربعة لها العرض نفسه، لكنها تَرتكِز على قوائم تزداد في الطول تدريجيًّا، واثنان أصغر حجمًا. مشت سريعًا نحو ركنٍ آخَرَ من المنضدة. والآن رأت أن مركز المنضدة به لوح كبير، مُثبَت إليه عدد من خطافات تعليق المعاطف. كان ثمة صفان من ثلاثة خطافات وخطافات فردية مُنعزِلة في أعلى اللوح وأسفله. سألت أليس مرافقها: «يا إلهي، ما الذي يحدث؟! فأنا أرى الحالات بأشكال مختلفة تمامًا طوال الوقت عندما أنظر إليها من اتجاهات مُختلِفة.»

تصف الحالة وضع نظام فيزيائي ما. إنها مفهوم أساسي في نظرية الكَم، وهي أفضل وصف مُمكن للعالم الواقعي. وبوجه عام، تُمثِّل سعة الحالة احتمال النتائج المُمكنة المختلفة لأيِّ رصد. وبعض الحالات قد لا توجد لها سوى نتيجة واحدة مُمكنة فقط لقياس معيَّن. وعندما يكون النظام في واحدة من هذه الحالات التي تُدعى بالحالات المستقرة، فإن أيَّ قياس يحدث لتلك الكمية سوف يُعطي نتيجة مُمكنة واحدة فقط. ومع تكرار القياسات نحصل على ذات النتيجة في كل مرة. ومن هنا جاءت التسمية «الحالات المستقرَّة»، أو المرادف الألماني eigenstate شائع الاستخدام.

ردَّ ميكانيكي الكَم: «حسنًا، بالتأكيد هذا يحدث. فأنتِ ترَين تمثيلاتٍ مختلفة للحالات. وتعتمد طبيعة الحالة على الطريقة التي ترصدينها بها. ويعتمد وجود الحالات المستقرَّة في حد ذاتها على رصد ما يؤدي دومًا إلى نتيجة محدَّدة، ولكن لا يُمكن أن تؤدِّي الحالة إلى نتائج محدَّدة بالنسبة إلى كل عملية رصد يُمكنك إجراؤها. على سبيل المثال، تَمنعكِ علاقات هايزنبرج من إدراك موضع أحد الإلكترونات وزخم حركته في الوقت نفسه، ولذلك فإن الحالة المستقرة لرصد ما، لن تكون كذلك بالنسبة إلى رصْدٍ آخَر. وتُدعى عمليات الرصد التي تستخدمينها لوصف الحالات بتمثيلات المادة.»

«وقد تختلف طبيعة الحالة كثيرًا حسب طريقة رصدك لها. وفي الحقيقة فإن هوية الحالات المختلفة نفسها يُمكن أن تتغيَّر. فالحالات التي ترينها في أحد التمثيلات من المُمكِن ألا تكون مُماثلة لتلك الموجودة في تمثيل آخر. ولعلكِ قد لاحظتِ الآن أن الشيء الوحيد الذي يجب أن يبقى ثابتًا هو عدد الحالات. فإن استطعتِ وضع إلكترون واحد في كل حالة، فمن المفترض أن تحصلي دائمًا على العدد نفسه من الحالات كي تحتويها جميعًا، حتى مع وجود احتمال لتغيُّر الحالات الفردية نفسها.»

هناك كميات معيَّنة لا يُمكن لها أن تتشارك في الحالة المستقرة نفسها، ومثال على هذا الموضع وزخم الحركة. فعند وجود حالة مستقرة يُمكنها أن تُعطيَ قيمة محدَّدة لموضع جُسيمٍ ما، فمن المُمكن أن يعطيَ قياس زخم الجسيم؛ أي كمية تحرُّكِه، أيَّ قيمة. وهذا يقودنا إلى علاقات عدم اليقين لهايزنبرج. ففي حال وجود مزيج من الحالات التي تتماشى مع قيم مُختلِفة للموضع، فإن قياس الموضع من الممكن أن يعطيَ أي قيمة من القيم المناسبة. لقد أصبح الموضع «غير مؤكَّد»، ومع ذلك فقيم انتشار زخم الحركة من الممكن أن تُختزل الآن.

لا ينتج هذا الانتشار بسبب تقنية قياس مَعيبة، ولكنه متأصِّل في الحالة الفيزيائية. إنَّ القيمة غير المحدَّدة لكمية فيزيائية ما، والتي من المُحتمَل أن تكون متأصِّلة في حالة معينة سوف تسمح بتأثيرات مثل اختراق الحاجز، وتبادل الجسيمات الثقيلة في النوى، والفوتونات في التفاعُلات الكهربائية، بل ووجود جسيمات افتراضية بوجه عام. سوف نتناول بالمناقشة الجسيمات الافتراضية وتبادُل الجسيمات في الفصلين السادس والثامن.

عارضته أليس فقالت: «لكن يبدو هذا غامضًا للغاية بالنسبة إليَّ. فيبدو كأن المرء لا يستطيع أن يكون متأكدًا على الإطلاق مما يكون موجودًا بالفعل.»

ردَّ الميكانيكي بأسلوب استعراضي: «صحيح! ألم تُلاحِظي هذا؟ يمكننا التحدُّث بكل ثقة عن عمليات الرصد، لكن الشيء الموجود فعليًّا الذي يُمكِن رصدُه، فهو مسألة أخرى تمامًا.»

«تعالَي معي الآن ودَعكِ من ذلك، إنه موعد الاجتماع المسائي للأكاديمية، وعلى الأرجح سوف تَجِدين حدثًا كهذا مُثيرًا للغاية.»

قادَها الميكانيكي عائدًا إلى المبنى الرئيسي، وأرشدها عبر بهو الدخول إلى حُجرة ضخمة لها سقف مقبَّب مُرتفِع. كانت الأرضية الفخمة المكسوة بالقرميد تعجُّ بزحام من الإلكترونات المكدَّسة بأقصى قدر مُمكن. في الأعلى كانت ثمة شُرْفة واسعة مزخرفة تمتدُّ على طول حافة القاعة الفسيحة، واستطاعت أليس أن ترى منها كيانات بعيدة مشوَّشة لإلكترونات تُسرع نحو المخرَج. وبالقرب من المدخل الذي عبرا منه إلى الحجرة كان ثمة مساحة صغيرة فارغة، قفَزَ فيها إلكترون كان يتبعهم وحين وصل إليها توقف في التو وقد صار محصورًا من جميع الجهات بالزحام الكثيف ولم تَعُد ثمة أي مساحة كي يتحرَّك فيها أكثر من ذلك.[٣]

هتفَت أليس مأخوذةً بحجم المشهد أمامها: «لماذا الزحام شديد جدًّا هنا؟» ردَّ أحد الإلكترونات المحبة للمساعَدة: «هذا طابق التكافؤ؛ فكل المساحات في طابق التكافؤ مُمتلئة وهذا لأن طابق التكافؤ دائمًا ما يكون ممتلئًا بالإلكترونات. لا يُمكن لأي منا التحرُّك على الإطلاق، فكما ترَين لا توجد أي حالات خالية للتحرك فيها.»

هتفت أليس: «هذا مروِّع، فكيف يُمكن لأي منكم أن يحظى بفرصة للتحرك عبر الطابق للخروج إذا كان الزحام شديدًا هكذا؟» قال الإلكترون في استسلام مفرح: «نحن لا نستطيع التحرك، لكن أنتِ تستطيعين إذا ما أردتِ ذلك، ففي إمكانك الذهاب إلى أيِّ مكان في الطابق؛ وذلك لأنه لا توجد أي أليس أخرى هنا، ولذلك توجد وفرة من الحالات الخالية لأليس ويُمكنك التحرُّك بداخلها. وهكذا لن تُعانيَ من أي مشكلة تتعلَّق بمبدأ باولي للاستبعاد على الإطلاق.» بدا هذا غريبًا جدًّا بالنسبة إلى أليس، لكنها حاولت أن تشق لنفسها طريقًا وسط ذلك الزحام والتكدُّس الشديد ووجدت أنها بطريقةٍ ما قد استطاعت أن تتحرَّك خلال الزحام دون أي مشكلة، بالضبط كما حدث عندما حاولت الدخول إلى عربة القطار الممتلئة في وقت سابق.

شقت أليس طريقها وسط زحام الإلكترونات نحو رصيف مُرتفِع عند الطرف البعيد للقاعة. وقف عليه العميد مُثيرًا للإعجاب كالعادة في عباءته وقبعته الجامعية. ومع اقترابها منه استطاعت أليس سماع صوته الرخيم يتردَّد في جنبات القاعة المكدسة.

«أعلم أن يومكم جميعًا كان مزدحمًا، لكني واثق من أني لست بحاجة إلى أن أذكِّركم بأهمية الدور الذي يجب أن تعدُّوا أنفسكم جيدًا للعبه في العالم. فأنتم أيها الإلكترونات، كلٌّ منكم في مكانه في حالاته الأصلية، تشكلون بنية كل شيء نعرفه. سوف يكون بعضكم مقيدًا داخل ذرات، وسيتوجَّب عليكم حينها العمل باجتهاد في مستوياتكم المختلفة، ستكونون منوطين بالتحكم في كل تفاصيل العمليات الكيميائية. وقد يجد بعضكم مكانه داخل بلورة صلبة. هناك ستجدُون أنفسكم إلى حدٍّ ما أحرارًا من الارتباط بأيِّ ذرة معيَّنة، وقد تتحرَّكون فيها بعيدًا بقدر ما يسمح به مبدأ باولي ورفاقكم من الإلكترونات. قد تكونون داخل نطاق توصيل حيث يُمكنكم أن تتحرَّكُوا بحرية، وستكون مهمتُكُم حينها أن تندفعوا في الأرجاء محمَّلين بشحنتكم الكهربية كجزء من التيار الكهربي. ومن ناحية أخرى، قد تكونون في نطاق التكافؤ داخل مادة صلبة. ربما تشعرون بأنكم مُحتَجزُون هناك، حيث لن تجدوا أي حالات خالية لكم كي تدخلُوها. لا داعيَ للشعور بالإحباط؛ فليس كل إلكترونٍ يُمكن له أن يصبح في أعلى حالات الطاقة، وتذكَّرُوا أن المستويات الأدنى أيضًا يجب أن تُملأ.»[٤]

«أما بالنسبة إليكم أيها الفوتونات، فأنتم أصحاب النفوذ. فتبقى الإلكترونات في حالاتها الأصلية في رضًا إذا ما تُركت لهواها، وهكذا لن يُنجز أي شيء أبدًا. إنها مهمَّتكم أن تتفاعلوا مع الإلكترونات طوال الوقت كي يتحقَّق التحول بين الحالات، وهي التغيُّرات التي تؤدِّي إلى حدوث الأشياء.»

عند هذه النقطة من خطاب العميد بدأت أليس تلاحظ الأشكال البراقة للفوتونات وهي تندفع خلال حشد الإلكترونات وترى الومضات المنبعثة بين الحين والآخر من الأجزاء المختلفة للقاعة. التفتَت كي ترى ما الذي يحدث. كان من الصعب عليها أن ترى لمسافة بعيدة، وذلك لأنها كانت محاطة بإلكترونات كثيرة للغاية تحاصرها.

«إن هذا بالفعل سيئ للغاية!» لم تستطع أليس أن تقاوم الصراخ بهذه العبارة وهي تنظر إلى كل الكيانات الحبيسة والثابتة في أماكنها بسبب الزحام الشديد حولها، وواصلت قائلة: «ألا توجد أي طريقة على الإطلاق يمكن من خلالها لأي واحد منكم أن يتحرك؟»

أجابها صوت قائلًا: «فقط إذا تعرَّضنا للاستثارة إلى مستوًى أعلى.» لم يكن في إمكان أليس أن ترى من الذي تحدَّث. فكرت في نفسها فقالت: «لكن هذا لا يهمُّ بالفعل، فبما أنهم جميعًا مُتماثلون، أفترض أنه كان الإلكترون نفسه الذي يتكلَّم دومًا.» عندها صدر وميض بالقرب منها ورأت أليس أن فوتونًا جاء مندفعًا عبر الزحام واصطدم بإلكترون. ارتفع الإلكترون عاليًا وهبط في الشُّرفة، حيث بدأ الجري باندفاع نحو المخرج.

كانت أليس تحدق بإمعان شديد في الإلكترون المنسحِب، فلم تلحظ اندفاع فوتون آخر صوبها. رأت وميضًا ساطعًا، وشعرت بنفسها تَرتفِع في الهواء. عندما نظرت حولها رأت أنها باتَت الآن واقفة في الشُّرفة أيضًا، تنظر إلى الأسفل نحو حشد الإلكترونات تحتها. «لا بد أن هذا ما قصده الإلكترون بالاستثارة إلى الطابق الأعلى. لم يبدُ لي هذا مثيرًا إلى هذا الحد، لكن على الأقل المكان أكثر اتساعًا هنا.»

ألقت نظرةً عبر حافة الشُّرفة إلى الطابق السُّفلي واستطاعت أن ترى ومضاتٍ صغيرة تظهر بين الحين والآخر هنا وهناك، يتبع كل واحد منها إلكترونًا يُحلِّق مُرتفعًا من الطابق ويهبط في الشُّرفة، حيث يبدأ أو تبدأ بالجري بسرعة عالية على الفور نحو المخرَج. هبط واحد منها في الشُّرفة بالقُرب من مكان وقوف أليس. نظرت أليس إلى الأسفل فرأت فجوةً صغيرة على شكلِ إلكترون في المكان الذي كان يقفُ فيه ذلك الإلكترون منذ لحظة. كانت الفجوة مرئية بوضوح حيث إنَّ لون الأرضية المغطَّاة بالقرميد كان يظهر في تبايُن حاد مع الخلفية المتجانسة من الإلكترونات المكدسة، التي كانت تُغطي السطح في كل مكانٍ آخر. وبينما كانت تُشاهد هذا الفراغ، خطَا إلكترون آخر بذكاء إلى داخل الفجوة التي ظهرت للتو، على الرغم من أنه أصبح غير قادر على الحركة أكثر من هذا. أصبحت توجد فجوة الآن حيث كان ذلك الإلكترون واقفًا، خطا إلكترون وصَلَ حديثًا في تلك الفجوة. حدَّثت أليس نفسها فقالت: «يا له من شيء عجيب! لقد أصبحت مُعتادة على رؤية الإلكترونات لكنِّي لم أتوقَّع أن أكون قادرة على رؤية عدم وجود الإلكترونات بمثل هذا الوضوح!» راقبت في اهتمام حركة الإلكترون الذي ارتفع محدثًا الفجوة الأولى الأصلية على طول الشُّرفة، وهي تتوازن بفعل الفجوة التي تشبه الإلكترون وهي تتقدم عبر الطابق السُّفلي في الاتجاه المعاكس، نحو الباب العريض الذي دخلت منه في الأساس.[٥]

عندما أصبح كلٌّ من الإلكترون والفجوة خارج نطاق رؤية أليس، سارت هي نفسها على طول الشُّرفة نحو المخرج، فقد شعرت أنها اكتفت بما سمعته من حديث العميد. مرَّت عبر الباب الصغير ووجدت نفسها في ممرٍّ طويل. كان ميكانيكي الكَم في انتظارها بجوار الباب، فسألها: «هل استمتعتِ بذلك؟»

ردَّت أليس في أدب: «للغاية، أشكرك.» شعرت أن هذا الردَّ كان متوقعًا منها. «لقد كان الجزء الأكثر إثارةً الاستماع إلى العميد وهو يدير الاجتماع.»

بدأ الميكانيكي حديثه قائلًا: «هذا ما تراءى لكِ، لكن في الواقع كانت الإلكترونات هي التي تُديره وهذا بمجرد استثارتها إلى الأعلى نحو مُستوى التوصيل. جميع الإلكترونات

لها شحنة كهربية كما تعرفين، ولذلك عندما تتحرَّك تتسبَّب في تدفُّق التيار الكهربي. قد قُدرَ للشحنة التي تحملها أن تكون سالبة؛ لذلك فالتيار يسري في الاتجاه المعاكس لحركة الإلكترونات، لكن هذه ملاحظة ثانوية وغير مهمَّة. فإذا كانت كل الحالات التي من المحتمَل أن يصلَ إليها أي إلكترون ممتلئة بالفعل بالإلكترونات، كما في مستوى التكافؤ، فيكون من المستحيل حدوث أي حركة وسوف نحصل على عازل كهربي. في هذه الحالة تكون الإلكترونات وشحناتها ثابتة في مواضعها، ومن ثم لا ينشأ تيار كهربائي. أما في حالتنا الراهنة فيُمكنك الحصول على تيار كهربي فقط عندما تكون الإلكترونات قد حملت إلى الأعلى، إلى مستوى التوصيل الفارغ حيث يكون لديها حيِّز وفير وفي مقدورها التحرُّك بسهولة. وفي هذه الحالة يُمكنك الحصول على تيار كهربي ينتج عن حركة الإلكترونات والفجوات التي تخلفها وراءها.»

اعترضت أليس قائلة: «لكن كيف يُمكِن لفجوة أن تُعطيَ تيارًا كهربيًّا؟ فالفجوة هي شيء ليس له وجود.»

سألها الميكانيكي: «مبدئيًّا أنتِ تتَّفقين معي على أنه ليس في مقدور الإلكترونات أن تتحرَّك؛ ومِن ثَمَّ لا يوجد تيار كهربي عندما تكون الإلكترونات كلها موجودة في مستوى التكافؤ الأدنى؟ فالتيار الكهربي لا يتغيَّر بل يظل على حاله كما لو لم تكن توجد إلكترونات سالبة الشحنة.»

أجابت أليس: «حسنًا، أجل أتفق معك.» فقد بدا هذا منطقيًّا ومقبولًا بما يَكفي.

«إذن يجب أن تعترفي بأنه عندما ينقص إلكترون واحد فقط، فإن التيار الكهربي سيبدو هكذا نتيجة لأن هناك إلكترونًا أقل. تتصرَّف الفجوة في مستوى التكافؤ كما لو كانت شحنة موجبة، فقد رأيتِ كيف أن حركة الفجوة نحو الباب كانت بالفعل نتيجة أن كثيرًا من الإلكترونات أخذت خطوة في الاتجاه المعاكس. ولهذا فإن التيار الكهربي الذي ينتج عن حركة الإلكترونات السالبة الشحنة بعيدًا عن الباب هو نفسه كالذي ينتج عن تحرُّك الشحنات الموجَبة نحو الباب. كما قلتُ فإن الفوتونات تُنتج تيارًا من كلٍّ من الإلكترونات التي تضعها في نطاق التوصيل، ومن الفجوات التي تُخلِّفُها وراءها.»

قالت أليس وقد قرَّرت تغيير الموضوع: «تبدو الفوتونات إلى حدٍّ ما مصدر إزعاج للإلكترونات.»

«حسنًا، في الواقع هي مُفرطة النشاط إلى حدٍّ ما، لكن الفوتونات أيضًا تكون لامعة جدًّا بالفطرة. وكما قال العميد فإن الجُسيمات ستتصرَّف كجُسَيمات. وأنا أتوقع أن بعضها في اللحظة الحالية يُقلِق سبات الإلكترونات ويُسلِّط عليها ضوءًا ساطعًا.»

قالت أليس في استفهام: «أنا آسِفة، لكن ألا تعني أنها تتنمَّر عليها؟ فأنا متأكِّدة من أن هذه هي الكلمة التي سمعتها تُستخدَم لوصف مضايقة التلاميذ بعضهم لبعض بالمزاح.»

«لا، إنهم بالتأكيد يُوجِّهون نحوهم أشعة الليزر، تعالَي معي لترَي بنفسِك.»

مشَيَا على طول الممرِّ حتى وصلا إلى باب في نهايته، فتح الميكانيكي هذا الباب ودخلا، وأَغلَق الباب خلفهما. باتا الآن في حجرة طويلة تصطفُّ على طول جانبيها أسرَّةٌ ذات دورين. استطاعت أليس أن ترى أن كثيرًا من الأدوار العليا في الأسرَّة كانت مُمتلئة بالإلكترونات، لكن الأدوار السُّفلى كانت في الأغلب الأعمِّ فارغة. أبدى الميكانيكي ملاحظته: «تجدينها أحيانًا في الأدوار العليا من الأسرَّة أكثر من الأدوار السُّفلى. إن ذلك يُسمَّى انقلاب الإشغال وفقط عندما يكون الأمر على تلك الصورة يُصبح تسليط أشعة الليزر قابلًا للتطبيق العملي.»

لم يمرَّ وقتٌ طويلٌ حتى جاء فوتون وحيد يَجري إلى داخل الحجرة، اندفع صوب أحد الأسرَّة وانحرف نحو الإلكترون الذي يشغل السرير العلوي. وبعد صوت ارتطامٍ عنيفٍ انهار الإلكترون إلى السرير السُّفلي. جفلت أليس لرؤية أنه قد أصبح هناك فوتونان الآن يَندفعان في أرجاء الحجرة، وتحرَّكا في انسجامٍ مثالي بحيث كانا كأنَّهما واحد. غمغم الميكانيكي في أُذن أليس: «ذلك مثال للانبعاث المستحَث. لقد تسبَّب الفوتون في انتقال الإلكترون إلى مستوًى أدنى، والطاقة المنبعثة تسبَّبت في خلق فوتون آخر. والآن انظري فقط لترَي كيف تتطوَّر عملية تسليط ضوء الليزر.»

اندفع الفوتونان في جميع أرجاء الحجرة، اصطدم أحدها بإلكترون؛ ومن ثَمَّ بات هناك ثلاثة فوتونات وإلكترون آخر في مستوًى منخفِض. وبينما أليس تنظر تفاعلَت الفوتونات مع المزيد من الإلكترونات، منتجةً المزيد من الفوتونات. لاحظت أنه في بعض الأحيان يصطدم فوتون بإلكترون كان قد سقط إلى سرير منخفِض. وعندما حدث هذا اندفع الإلكترون مرتفعًا إلى سرير أعلى واختفى الفوتون، لكن هذا لم يحدث كثيرًا بسبب أنه من البداية كانت هناك إلكترونات قليلة جدًّا في الأسرَّة السفلية.[٦]

سرعان ما أصبحت الحُجرة مزدحمة بحشد من الفوتونات المُتماثلة، كلها تندفع للأمام والخلف في توافُقٍ مذهل. أصبح يُوجد الآن تقريبًا نفس عدد الإلكترونات في الأسرَّة السُّفلية كما في الأسرَّة العلوية، وعلى ذلك باتت احتمالية أن تستثير تلك التصادمات إلكترونًا إلى موضع أعلى مع فقدان واحد من الفوتونات مكافئة لاحتمالية خلق فوتون

جديد. تدفَّق سيل الفوتونات عبر الباب في نهاية المهجَع وعبر الممرِّ كشعاع ضوء ضيق متسق. اصطدمت هذه الفوتونات بالبِنية الضخمة للعميد الذي كان يَمشي باتجاهها، وذلك قبل أن تجتاز حتى نصفَ الطريق عبر الممر.

توقَّف في الحال، ووقف منتصبَ القامة ونشر عباءته السوداء السميكة على الجانبَين، وبذلك أظهر جسمًا أسودَ كثيفًا سدَّ الممر بفعالية. ارتطمت الفوتونات بالمادة السوداء الحالكة السواد واختفت تمامًا. وقف العميد لحظةً وقد بدا محمومًا ومنزعجًا، يَمسح العرق الذي يتصبَّب من وجهه شديد الحمرة بمنديل.

قال وهو ينفخ: «لن أتحمل مثل هذا السلوك. لقد حذرتهم من قبل بأن أي فوتون سيستمر في التصرف بهذه الطريقة سيتعرض للامتصاص على الفور. إنه، مع ذلك، عمل محموم، بما أن الطاقة المتحرِّرة يجب أن تذهب إلى مكان ما، وعادةً ما ينتهي بها الحال على صورة حرارة.»

قالت أليس: «اعذرني، هل يُمكنك أن تُخبرني أين ذهبت كل تلك الفوتونات؟»

«بكل تأكيد، إنها لم تذهب إلى أي مكان يا عزيزتي، بل تعرَّضَت للامتصاص، ولم تَعُد موجودة.»

هتفَت أليس التي شعرت بالأسف على الفوتونات الصغيرة المسكينة التي خبا وهَجُها واختفت فجأة وإلى الأبد: «يا إلهي، يا له من أمر مأساوي.»

«لا، على الإطلاق، على الإطلاق، فهذا كله جزء من كونها جسيمات غير محفوظة. هذه هي طبيعة الفوتونات؛ فهي تأتي بسهولة وتذهب بسهولة. فهي تُولَّد وتُدمَّر طوال الوقت، وهو ليس أمرًا خطيرًا.»

صاحت أليس: «أنا على يقين من أنه يكون هكذا بالنسبة إلى الفوتون.»

«حسنًا، أنا لست حتى متأكدًا من هذا. فأنا لا أعتقد أن المدة التي يبدو لنا فيها أن الفوتون موجود بالفعل تُمثِّل أي أهمية بالنسبة إلى الفوتون. فهذه الفوتونات تَنتقِل بسرعة الضوء، فكما ترَين هي في النهاية عبارة عن ضوء. وبالنسبة إلى أي شيء يَنتقِل بهذه السرعة يتوقَّف الزمن. ولهذا مهما طالت المدة التي تبدو لنا فيها أنها موجودة على قيد الحياة، فالوقت بالنسبة إليها لا يمرُّ على الإطلاق. فتاريخ الكون بأكمله قد يمر كومضة بالنسبة إلى الفوتون. وأعتقد أن هذا هو السبب في أنها لا تُصاب أبدًا بالملَل.

«كما قلت في الاجتماع، فإن الفوتونات لها أدوار كثيرة مهمة تلعبها لاستثارة الإلكترونات من حالة إلى أخرى، وبالتأكيد في إنشاء التفاعُلات التي تَخلُق الحالات في المقام

الأول. وكي تفعل هذا فمن اللازم أن يَجريَ توليدها وتدميرها طوال الوقت؛ فهذا جزء من العمل، من الممكن أن تقولي ذلك. ومع ذلك فإن إنشاء التفاعلات هي مهمَّة الفوتونات الافتراضية بشكل أكبر. ونحن لا نتعامل معها كثيرًا هنا. وإذا كنتِ مهتمة بالحالات وكيف يتنقَّل المرء بين حالة وأخرى، فيجب أن تزوري وكيل الحالات. وسوف يرشدكِ صديقك هناك إلى الطريق.»

رافقهما العميد إلى خارج الأكاديمية ثم عبروا ممر السيارات حتى وصلوا إلى البوابة. وبينما كانا يسيران في الطريق، استدارت أليس لمرة كي تلوح للعميد، الذي كان واقفًا بشموخ في وسط المدخل، حيث رأته للمرة الأولى.

هوامش

(١) إذا كان لديك العديد من الجسيمات، فسيكون لديك نوع ما من السعة لكل جسيم منها، وسعة كلية تصف نظام الجسيمات ككل. إذا كانت الجسيمات كلها مختلفة بعضها عن بعض؛ فمن ثمَّ تعرف (أو يُمكنك أن تعرف) الحالة التي يكون فيها كلٌّ منها. والسعة الكلية هي نتاج سعات الجسيمات كلٍّ على حدة.

إن كانت الجسيمات مُماثلة لبعضها، فإن الأمور ستُصبح أكثر تعقُّدًا. فالإلكترونات (أو الفوتونات) مُتماثلة تمامًا، ولا توجد أي وسيلة للتمييز بينها. فعندما ترى أحدها فقد رأيتها جميعًا. إذا ما قام إلكترونان بتبادُل حالتَيهما التي يشغلانها فيما بينهما، فلا توجد أي وسيلة تجعلك قادرًا أبدًا على إدراك هذا. وتكون السعة الكلية، كالمعتاد، مزيجًا من كل السعات غير القابلة للتمييز فيما بينها، والتي تشمل الآن كل الاستبدالات التي حدَثَ فيها تبادُل للجُسيمات بين حالتين.

لا يُؤدِّي تبادل جسيمين متماثلين إلى أي فارق فيما يمكنك رصده، وهو ما يعني أنه لا يُؤدِّي إلى أي فارق في توزيع الاحتمالات الذي نحصل عليه عند ضرب السَّعة في نفسها. هذا قد يعني أن السَّعة نفسها لا تتغيَّر أيضًا، أو قد يعني أن السعة تتغيَّر إشارتها، على سبيل المثال، تتحوَّل من الموجب إلى السالب. وهذا مُكافئ لضرب السعة في سالب ١. عندما تُضرب السعة في نفسها كي تحصل على سعة الاحتمال، فإنَّ هذا العامل سالب ١ يُضرب أيضًا في نفسه كي يصبح العامل +١، وهو ما سيَجعل الاحتمالية لا تتغيَّر. يبدو التغير في الإشارة بمَثابة سفسطة أكاديمية تافهة، لكن له نتائج مُذهِلة.

(٢) لا يوجد أي سبب واضح لضرورة أن تُغيِّر السعة إشارتها، وذلك فقط لأنه من غير المُمكن إثبات أن هذا قد لا يحدث، لكن يبدو أن الطبيعة تتبع المبدأ القائل إنَّ ما ليس ممنوعًا فهو إلزامي، وكذلك فهي تأخذ بكل خياراتها. وثمة جسيمات تُغيِّر السعاتُ الخاصة بها إشاراتها عند التبادُل فيما بين اثنين منها. يطلق عليها اسم فرميونات، والإلكترونات مثال على هذا. كما أن ثمة جسيمات لا تُغيِّر السعاتُ الخاصة بها إشاراتها عند التبادُل بين اثنَين منها. يُطلَق عليها اسم بوزونات، والفوتونات من هذا النوع.

هل يهمُّ حقًّا إذا ما تغيَّرت إشارة سعة نظام من الجسيمات أو لم تتغيَّر عندما يقوم اثنان منها بتبادُل حالتَيهما؟ من المثير للدهشة أنَّ هذا الأمر مهم، وله أهمية كبرى.

لا يُمكن أن يجتمع اثنان من الفرميونات في نفس الحالة. فلو أن بوزونين كانا في نفس الحالة وقد جعلتهما يتبادلان فيما بينهما ففي الواقع أنت لم تُحدِث حقيقةً أي فارق على الإطلاق؛ فهذا لا يؤدِّي حتى إلى تغيُّر في الإشارة. فمثل هذه السعات غير مسموح بها للفرميونات. إنَّ هذا يعدُّ مثالًا على مبدأ باولي الذي ينص على أنه من غير المحتمل لأي اثنين من الفرميونات أن يكونا أبدًا في نفس الحالة. الفرميونات هي أكثر الأشياء فردانية؛ فمن غير المُمكن لاثنين منها أن يتطابقا أبدًا.

إنَّ مبدأ باولي على درجة قصوى من الضرورة والأهمية لوجود الذرات والمادة كما نعرفه. أما البوزونات فهي غير محكومة بمبدأ باولي، بل هي على العكس تمامًا في الحقيقة.

إذا كان كل جسيم في حالة مُختلِفة ثم قمتَ بتربيع السعة الكلية لتحسب توزيع الاحتمالات للجسيمات، فإن كل جسيم على حدة يسهم بنفس القدر في الاحتمالية الكلية. ولو كان لديك جسيمان في نفس الحالة ثم قمت بتربيع ذلك، فسوف تَحصُل على أربعة أمثال المساهمة من جسيمين اثنين فقط. كلٌّ منهما قد ساهم نسبيًّا بشكل أكبر، وعلى ذلك فأن يكون لديك جسيمان في نفس الحالة هو أكثر احتمالًا من أن يكون لديك اثنان كلٌّ منهما في حالة مُختلِفة. وأن يكون لديك ثلاثة أو أربعة جسيمات في نفس الحالة هو حتى أكثر احتمالًا وهكذا دواليك. ومن شأن هذه الزيادة في احتمالية أن يكون لديك بوزونات متعددة في نفس الحالة أن تُسبِّب ظاهرة تكاثف البوزونات؛ فتحبذ البوزونات أن تجتمع معًا في نفس الحالة. وعليه يكون من السهل قيادة البوزونات، سيرهم كقطيع هو أمر متأصل فيهم.

من الممكن ملاحظة تكاثُف البوزونات في عملية إنتاج الليزر على سبيل المثال.

(٣) يُمكِن للقوى الكهربية المُشتملة على الإلكترونات أن تحافظ على تماسك الذرات معًا كما سنُناقش في الفصل السابع، ولكنَّها لا تؤدِّي إلى أيِّ تنافُر يدفع بالذرات بعيدًا

بعضها عن بعض، وعلى ذلك فما السبب الذي يجعل الذرات تُحافظ على مسافات مُنتظِمة مناسبة بين بعضها وبعض؟ ولماذا تكون المواد الصلبة غير قابلة للانضغاط؟ ولماذا لا تجذب الذرات بعضها، وبذلك ينتهي الحال بقالب من الرصاص إلى جسمٍ ثقيل في حجم ذري؟ مرةً أخرى، هذه هي إحدى نتائج مبدأ باولي والذي ينصُّ على أنه لا يجوز لإلكترونين أن يكونا في نفس الحالة.

بما أنَّ الذرات من نوع معيَّن تكون جميعها مُتماثلة، فإنها يكون لكلٍّ منها نفس مجموعة الحالات. أفلا يضع هذا الإلكترونات المتكافئة في كل ذرة في نفس الحالة، وهو أمر غير مسموح به؟ في الحقيقة ما دامت الإلكترونات في مواضع مختلفة، فإن الحالات تكون مُختلِفة قليلًا. فإذا كنت ستقوم بتراكب الذرات بعضها فوق بعض، عندئذٍ ستُصبح الحالات مُتماثلة، وهو ما يحظره مبدأ باولي. فالحفاظ على الذرات مُتباعِدة يكون باستخدام ما يُعرف بضغط فيرمي، لكن هو في الحقيقة ليس إلا الرفض البالغ لأن تكون الإلكترونات داخل الذرة الواحدة مُماثِلة لجيرانها. وتكون المادة غير قابلة للانضغاط بسبب الفردانية القصوى للإلكترونات.

(٤) في المادة الصلبة تجتمع حالات الإلكترون من الذرات المنفردة معًا كي تكوِّن عددًا كبيرًا من حالات الإلكترون التي تَنتمِي إلى المادة الصلبة ككل. تتآلَف هذه الحالات في نطاقات للطاقة حيث تكون مُستويات الطاقة للحالات داخلها قريبة جدًّا بعضها من بعضٍ حتَّى تكاد أن تكون مُتواصِلة. توجد فجوات في نطاقات الطاقة في المادة الصلبة تُشبه تمامًا الفواصل بين مُستويات الطاقة الأكبر في الذرات المُنفرِدة. وهكذا تكون النطاقات الأدنى مُمتلئة بالإلكترونات التي جاءت من مستويات طاقة أدنى في الذرات. يُطلق على أعلى هذه النطاقات الممتلئة نطاق التكافؤ. وفوقه يوجد نطاق آخر؛ وهو نطاق التوصيل، المفصول بفجوة النطاق الذي لا يحتوي على أي حالات. ويكون نطاق التوصيل إما فارغًا تمامًا أو ممتلئًا جزئيًّا فقط على أقصى تقدير.

لا يُمكن للإلكترونات التحرك في نطاق التكافؤ. فأي حركة للإلكترون يشترط ضرورة أن تتغيَّر الإلكترونات من حالة إلى أخرى، كما لا توجد أي حالات خالية للإلكترونات كي تذهب إليها. لو وضِع جهد كهربائي عبر المادة فإنه سوف يَبذُل قوة على الإلكترونات في نطاق التكافؤ لكنها لا تستطيع التحرُّك. ولو لم تكن توجد إلكترونات في نطاق التوصيل فإن هذه المادة ستعمل كعازل كهربي.

(٥) لو تزوَّد إلكترون في نطاق التكافؤ الممتلئ بطاقة كافية، سواء كان ذلك عن طريق التصادم مع فوتون أو حتى التركيز مصادفةً لطاقة حرارية، حينئذٍ ربما يرتفع

الإلكترون عبر فجوة النطاق إلى نطاقِ التوصيل الأعلى. وبما أن ثمة وفرة من الحالات الفارغة في هذا النطاق فسيُصبِح في إمكان الإلكترون الآن أن يتحرَّك في الأرجاء من حوله، وسوف يؤدِّي الجهد الكهربي إلى حدوث توصيل. إضافة إلى أن ثمَّةَ مكانًا خاليًا الآن في مستوى التكافؤ حيث اعتاد الإلكترون أن يكون موجودًا. يُمكِن أن يتحرَّك إلكترون آخر إلى هذه الفجوة وهكذا. سوف تكون هناك فجوة في نطاق التكافؤ المُمتلئ في الظروف الأخرى، وسوف تتحرَّك هذه الفجوة في الاتجاه المعاكس لحركة الإلكترون. تتصرَّف هذه الفجوة بشكلٍ شبيهٍ جدًّا بالجُسيم ذي الشحنة الموجبة.

يصف ما ورَدَ سابقًا سلوك المواد من أشباه الموصِّلات؛ مواد مثل السيليكون الذي يستخدم على نطاق واسع في الإلكترونيات. ويحمل التيارَ الكهربي كلٌّ من الإلكترونات في مستوى التوصيل والفجوات في مستوى التكافؤ.

(٦) عندما يتفاعَل فوتون لديه الطاقة الصحيحة مع إلكترون في ذرة؛ فإنه ربما يتسبَّب في انتقال الإلكترون من مستوى طاقة إلى آخر، كما سنشرح بالتفصيل في الفصل السادس. وفي أغلب الحالات يكون الانتقال من مستوى طاقةٍ أدنى إلى مستوًى أعلى، حيث عادةً ما تكون كل مستويات الطاقة الأدنى مُمتلئة بالإلكترونات. ويمكن للفوتون بالمثل أن يؤدِّي إلى انتقال من مستوى طاقة أعلى إلى مستوًى أدنى لو كان المستوى الأدنى خاليًا.

إنْ حدثَ وكان لدى المادة الكثير من الإلكترونات في مستوًى أعلى والمستوى الأدنى أغلبه خالٍ (حالة تعرف باسم انقلاب الإشغال) حينئذٍ يمكن لفوتون أن يتسبب في انتقال إلكترون من مستوًى أعلى إلى واحد أدنى. يطلق هذا التغير طاقة ويخلق فوتونًا جديدًا بالإضافة إلى ذلك الذي سبَّب الانتقال. ويُمكن لهذا الفوتون بدوره أن يدفع إلكترونات أكثر للهبوط إلى حالة أدنى.

في الليزر ينعكس الضوء جيئةً وذهابًا من المرايا في كلتا نهايتَي التجويف، مما يتسبَّب في انبعاث المزيد من الفوتونات في كل مرة يمرُّ فيها بشكل متكرِّر خلال المادة. يتسرَّب القليل من هذا الضوء من خلال المرايا التي ليست عاكسات مثالية، مما يُؤدِّي إلى صدور شعاع ضيق كثيف: ألا وهو ضوء الليزر. وبما أن الفوتونات قد انبعثَت استجابة مباشرة للفوتونات الموجودة بالفعل، فإن الضوء كله يكون في توافُق أو في المرحلة نفسها وله خصائص متفرِّدة تتعلق بإنتاج تأثيرات تداخل على نطاق كبير مثلما يمكننا أن نرى في الصور المجسمة (لا تحتاج كل الصور المجسمة إلى ضوء ليزر، لكنه يُساعد).

الفصل السادس

الواقع الافتراضي

قاد ميكانيكي الكَم أليس قدمًا في الطريق وعبر بوابة من الحديد المطاوع إلى داخل حديقة جذابة. مشيَا مُتمهِّلَيْن في ممر، على جانبَيه صفان من أحواض الورود الجميلة اليانعة وهو ما منحَهُما أمتع شعور بالسعادة خاصة مع الطقس الصيفي الدافئ. سطعت الشمس في السماء مشرقةً، تصب ضوءها على المشهد البديع. وعلى جانب الطريق رفرفت فراشات ملوَّنة من زهرة متألِّقة إلى زهرة متألقة أخرى، وتدفَّقَ جدول صغير مُترقرقًا من منحدر على قاع من حصًى صغير دائري، وعلى طول مجرى هذا الجدول الصغير هنا وهناك كان الماء يتدفَّق في شلالات مُتناهية الصغر. رأت أليس كل هذا في غاية الجمال وكانت تتأمَّل فيما حولها في فرح حين رأت كيانًا آخر يَقترب منها في طريق يتقاطَع مع طريقها.

كان من الواضح أن القادم الجديد فتاة أخرى صغيرة، لكن كان هناك شيء مميَّز للغاية بخصوصها. لقد بدَت على نحوٍ ما مشابِهة لأليس تمامًا، لكنها ماثلت بشكلٍ أكبرَ الهيئة التي كانت أليس قد رأتها مصادفة في نيجاتيف اللقطات الفوتوغرافية خاصتها. تذكرت أليس الجسيمات المضادة للإلكترونات التي كانت قد رأتها في البنك. ولدهشتها لاحظت أن الفتاة على الرغم من أنها كانت آتية نحوها، فقد كانت تنظر في الاتجاه المعاكس وكانت تمشي إلى الخلف.

كانت أليس مأخوذةً بمظهر هذه الفتاة الغريب لدرجة أنها لم تَنتبِه إلى السرعة الكبيرة التي كانا يَقتربان بها بعضهما من بعض؛ فقبل أن تُدرك تمامًا ماذا يحدث كانا قد اصطدما. كان ثمَّةَ وميضٌ يذهب بالأبصار، غيَّب حواسَّها. عندما تعافَت من هذا وجدت نفسها تمشي بمفردها في الممر الذي جاءت منه الفتاة الأخرى. حين نظرت خلفها استطاعت أن ترى الفتاة العكسية تَمشي مُبتعِدة — وهي ما زالت تمشي إلى الخلف — على

طول الممر الأصلي الذي كانت أليس تَمشي فيه. ومع ذلك فقد كانت الآن مصحوبة بكيان آخر سالب، والذي كان يَمشي بمصاحبتها على طول الطريق بشكل عكسي إلى جانبها. كان هذا الكيان الثاني يُشبه مرافقها السابق ميكانيكي الكَم.

عندما نظرت حولها، جفلت أليس لاكتشافها أن كل ما يحيطها قد تغير تمامًا. بدا كل شيء وكأنه معكوس. ففي السماء ظهرت الشمس معتمة، تمتص الضوء من المشهد أسفلها. وعلى جانبي الطريق، ترفرف الفراشات للخلف من زهرة مُعتِمَة إلى زهرة معتمة، وثمة جدول صغير يتدفق مترقرقًا في صعود على حصى صغير مستدير، وعلى طول المجرى هنا وهناك كان الماء يرتفع قافزًا إلى قمم شلالات مُتناهية الصغر. لم ترَ أليس شيئًا مثل هذا من قبل.

لقد كانت مفتونة بذلك المشهد اللافت للنظر، حتى إنها لم تلاحظ مرةً أخرى فتاة صغيرة تهرع نحوها سريعًا بشكل معكوس. نظرت أليس حولها بالضبط في لحظة اصطدامهما الذي صاحبه وميضٌ يَذهب بالأبصار مرةً أخرى. وعندما تعافت من صدمتها، رأت الفتاة تتراجَع إلى الخلف مُبتعِدة على طول الممر الذي جاءت منه أليس لتوِّها. لاحظت بالإضافة إلى ذلك أن المشهد الآن قد عاد إلى حالته الطبيعية. قالت أليس في نفسها: «أعجبُ فأعجب. أدى الاصطدام الأول بطريقةٍ ما إلى جعل كل الريف يعكس نفسه، بينما أعاده الثاني إلى حالته الطبيعية. أنا متأكدة من أني لا أدرك كيف يمكن لهذا أن يحدث. كيف يمكن لاصطدامي بتلك الفتاة — مهما كان عنيفًا — أن يُؤثر في جدول الماء والشمس؟ لا يوجد في هذا أي منطق على الإطلاق.» واصلت أليس جدالها مع نفسها حول معنى تجربتها الأخيرة. لقد كانت ذاهلةً للغاية لدرجة أنها لم تُبدِ أي اهتمام عندما سمعت صوت انفجار حادٍّ على أحد جانبَيها، وبعدها بفترة وجيزة اندفع فوتون مفعَم بطاقة شديدة عبر الممر.

لم تصل أليس إلى أي تفسيرٍ مرضٍ لتجربتها الأخيرة عندما قادها الممر إلى خارج الحديقة إلى مساحة واسعة ومنبسطة. بدت خالية من أي تضاريس بخلاف مبنًى غير جذاب ضخم، يقف أمامها على مسافة غير بعيدة.

عندما اقتربت كان في مقدورها أن ترى أن للمبنى لوحة تحمل اسمه معلَّقة في منتصَف واجهته، أعلى قليلًا من مُستوى رأس أليس. حملت إحدى نهايتَي هذه اللافتة كلمتَي «وكيل الحالات»، وفي النهاية الأخرى كلمتَي «سمسار افتراضي». وفي مركز واجهة المبنى الضخمة الجرداء كان ثمة باب ونافذة صغيرة، كانت مليئة بالإعلانات.

اختزالاتٌ حقيقية للسعات للبيع السريع

سمات دورية دقيقة.

سعات تقع في نطاق الطاقة المرغوب.

أسعار جذابة لانتقالاتٍ مبكِّرة.

لَمَّا لم تَستطِع أليس أن ترى أحدًا في الخارج، فتحت الباب ودخلت. وجدت داخل المبنى مباشرةً منصَّة قصيرة، ومن خَلفِها حجرة ضخمة خالية تقريبًا إلا مما بدا كطبقاتٍ مِن أرفُف ترتفع عاليًا حتى تغيب بعيدًا في الظلال. في منتصَف الحجرة كان ثمة كيان واحد مرئي يجلس أمام مكتب ويتحدث في الهاتف. عندما رأى أليس نهض واتجه إليها في عجالة.

أسند يدَيه على المنصَّة وابتسم ابتسامة عريضة حتى بدت نواجذُه في سلوكٍ مُراءٍ إلى حدٍّ ما. قال لها: «ادخلي، ادخلي.» مُتجاهلًا حقيقة أن أليس كانت قد دخلَت بالفعل. «ما الذي يُمكنني أن أريه لكِ بكل سرور؟ ربما تُخطِّطين للانتقال إلى أولى حالاتك؟ أنا واثق من أننا سوف نكون قادِرين على إرضائك تمامًا.»

بدأت أليس حديثها: «كي أكون صادقة معك، أنا في الواقع لا أبحث عن أي شيء. لقد قيل لي إنه سيكون بإمكانك أن تُخبرَني ببعض الأشياء عن طريقة تحرُّك الإلكترونات والجسيمات الأخرى بين الحالات.» ولم يكن هذا يعني أنها كانت بأي حالٍ تَنوي الكذب على الإطلاق.

«حسنًا، لقد جئتِ بكل تأكيد إلى المكان الصحيح؛ فلقد قضَينا وقتًا طويلًا في أعمال انتقال الجسيمات. إذا أردتِ يُمكنكِ أن تأتي معي إلى واحد من مواقعنا، فسأسعى جاهدًا إلى توضيح الموقف بالدرجة التي تُرضيكِ تمامًا.»

فهمتْ أليس أن هذا يعني أنه سوف يَشرح لها الأمور؛ لذلك فقد استدارت حول المنصَّة وتبعته إلى إحدى مجموعات الأرفف أو أيًّا ما كانت. إما كانت هذه الأرفف ضخمة والطريق إليها بعيد، أو أن أليس ووكيل الحالات قد تقلص حجمهما مع اقترابهما منها، لكن بصرف النظر عما حدث، فحين اقتربت أليس منها وجدتها قد أصبحت تبدو الآن أكثر ككتلة مُرتفعة من المباني السكنية. حملت هذه الكتلة لافتةً مكتوب عليها:

وحدات سكنية دورية.

كانت مفتوحة تمامًا من واجهتها وكان في استطاعتها أن ترى الإلكترونات وهي تتجوَّل في كل مستوًى.

«هناك ترين مثالًا جيدًا على الحالات الكيفية المبنيَّة على مُستويات طاقة مُتباعِدة بشكل مدروس فكل مستوًى يشغله العدد المسموح به من الإلكترونات وصولًا إلى أعلى مستوًى مشغول على الإطلاق. فوق هذا المستوى تُوجد العديد من الحالات الخالية، لكن في الوقت الحالي لا توجد أي مساحة لأيِّ إلكترونات في المستويات المنخفِضة. عندما يكون الإلكترون نزيلًا مُستقرًّا في إحدى الحالات، لا يوجد بالتأكيد أي مساحة لإلكترون آخر. وعادةً إذا ما تُرك الإلكترون ليتصرَّف كما يحلو له فإنه لا يَميل أبدًا للتحرُّك من الحالة بمجرد أن يستقرَّ فيها. ومع ذلك، إذا انتظرنا لوقتٍ قصير قد نكون محظوظين برؤية حركة إجبارية.»

وقفَت أليس ونظرت إلى الصرح الضخم وبعد انتظار قصير، رأت فوتونًا يندفع إلى الواجهة. حدث هياجٌ وقفَز فجأة أحد الإلكترونات في المستوى الأدنى عاليًا محلقًا إلى خارج مجال الرؤية. نظرت أليس حولها كي ترى من أين جاء الفوتون. كان ثمَّة شاحنة صغيرة تقف في مكان قريب، رُسِمَ على جانبها شعار:

فوتونات للإزاحة

نقوم بأعمال الإضاءة الخاصة بالانتقالات.

صاح وكيل الحالات فرحًا: «إنها ساعة حظِّي. فقد منح فوتون طاقته إلى إلكترون في المستوى الأدنى واستثاره مباشَرةً نحو الأعلى إلى واحد من المستويات الخالية في القمة. ليس من المعتاد أن تحدُث انتقالات من الحالة القاعِدية الأرضية. فهذا يترك فراغًا جذابًا للغاية، يجب أن أتأكَّد منه على الفور.»

اندفع مغادرًا، وسرعان ما عاد وهو يحمل لافتة إعلانات على عمود، قام بغرسها في الأرض. مكتوبٌ في الإعلان:

ملكية شاغرة

حالة جذابة في مستوًى قاعِدي أرضي.

لم يكدْ يضع اللوحة في مكانها حتى صدَرت عن أحد الإلكترونات في المستوى الثاني صرخة قصيرة وخرَّ ساقطًا إلى الحالة الخالية. وبمجرَّد أن استقرَّ هناك واصل وكأن لم يكن هناك أي ظرف صعب قد مرَّ به. وفي أثناء سقوطِه رأت أليس فوتونًا يَندفع خارجًا.

ولأن الإلكترون لم يسقط بعيدًا للغاية؛ فقد كانت الطاقة التي يحملها هذا الفوتون أقل بكثير من الطاقة التي يحملها الفوتون الذي أطلق الإلكترون الأصلي.

تنهَّد وكيل الحالات، والتقط فرشاة طلاءٍ من وعاء كان قد جاء به معه عندما جلَبَ لافتة الإعلان وشرع في محو كلمة «قاعدي أرضي» وكتب «ثانٍ» مكانها. لم يكد الطلاء يجف حتى سمعت أليس صرخة أخرى مُدوية. لقد سقط إلكترون في المستوى الثالث إلى المكان الخالي في المستوى الثاني. تذمَّر وكيل الحالة وغيَّر لوحته مجددًا ليكون مكتوبًا عليها «الثالث». ثم قذف الفرشاة بعنف في وعاء الطلاء وحملق في المبنى.

دوَّت صرخة قوية أخرى. فقد سقط إلكترون من مُستوًى ما زال عاليًا إلى المستوى الثالث. انتزع وكيل الحالة لافتته الإعلانية من على العمود، وطرحها أرضًا ودهسها بقوة.[١]

قالت أليس، في تردُّد إلى حدٍّ ما مخافة أن تقطع هذا التعبير الحاد عن الانفعال: «معذرة، أعتقد أنك قد قلت إن الإلكترونات تبقى في حالاتها إلى أجل غير مُسمًّى، إذا ما تُركت وحدها، لكن يبدو أن هذه الإلكترونات قد سقطَت تلقائيًّا.»

ردَّ الوكيل وقد بدا مسرورًا للغاية بتشتيت انتباهِه عن ثورته الانفعالية الخاطفة: «هذا ما قد يبدو. في الواقع إن جميع تلك الانتقالات التي قامت بها الإلكترونات كانت مدفوعةً بالفوتونات، لكنَّك لم تُلاحظيها؛ لأنها قد كانت فوتونات افتراضية. تلعب الفوتونات الافتراضية دورًا مهمًّا جدًّا في جميع تفاعُلات الإلكترونات. فهي لا تُحدث فقط هذه الانتقالات التلقائية ظاهريًّا بين الحالات، بل تُساعد أيضًا في خلق الحالات نفسها في المقام الأول. لذلك كما ترين، فإن الجسيمات التي تُحافظ على الإلكترون في حالته المستقرة هي أيضًا تلك التي تجبر الإلكترون على مغادرتِها.

قبل أن أُحدِّثك بشأن الجسيمات الافتراضية يجب علينا فحصُ الجسيمات الطبيعية، تلك التي ليست افتراضية. إنها تَعرف عادةً باسم الجسيمات الحقيقية. الشيء المُميَّز فيها أن ثمة علاقة وطيدة بين كتلها الخاصة والطاقة وزخم الحركة التي يمكنها الحصول عليها. هذا هو المكتوب في اللافتة هناك.»

أشار الوكيل إلى مُلصَق صغير مطبوع على ورقة خضراء مُضيئة لامعة، والتي كانت معلَّقة على واجهة البناية، ومكتوب فيها:

الجسيمات الحقيقية تَعتمِد على غلاف الكُتلة.

قد تُستثار الإلكترونات من الفوتونات كي تقوم بانتقالات في أيٍّ من الاتجاهَين، مما يُؤدِّي إلى امتصاصٍ مُستحَث أو انبعاث مُستحَث. في النهاية تتراجَع الإلكترونات التي تعرَّضَت للاستثارة لتنتقل إلى حالة أعلى في الطاقة، فتعود إلى حالة أدنى في حال توفُّر واحدة، حتى ولو لم يكن ثمَّة أي فوتونات موجودة ظاهريًّا. هذا يُدعى الاضمحلال التلقائي. وتضمَن ميكانيكا الكَم أن تكون جميع الانتقالات مدفوعة بشيءٍ ما؛ فهي لا تحدث من تلقاء نفسها. إنَّ حالات الاضمحلال التلقائي التي تَحدُث ظاهريًّا هي في الواقع بفعل الفوتونات، لكنها ليست فوتونات حقيقية. إنها تكون مدفوعة بفوتونات افتراضية؛ وهي تقلباتٌ كَميَّة في الفراغ.

توجد حول أي شحنة كهربية سحابة من الفوتونات الافتراضية، يُنتجُ تفاعلها مع الجسيمات الأخرى المشحونة حقلًا كهربيًّا. وبما أن الحقل الكهربي يتكون من هذه الفوتونات، فإنها توجد دائمًا داخل ذرة ويُمكنها أن تُحدِث حالات الاضمحلال التلقائي ظاهريًّا لحالات الإلكترون.

فكَّرَت أليس بينها وبين نفسها: «إنهم بالتأكيد مغرمون جدًّا باللافتات هنا. هذه اللافتة يبدو أن لها معنًى عميقًا، لكني لا بد أن أعترف بأني لا أعرف ماذا تعني.»

واصَلَ الوكيل حديثه وكأنه يُجيب عن أفكارها: «إنَّ غلاف الكتلة هو المنطقة حيث تكون الطاقة وزخم الحركة مرتبطَين ارتباطًا وثيقًا على النحو اللازم للجسيمات الحقيقية. إنه المسار المستقيم والضيق الذي تتبعه الجسيمات التقليدية الضيقة الأفق.»

«إذا أراد المرءُ أن يكون ذا قوة في المجتمع وأن تخضع الأشياء لأوامره، فلا بد أن تكون لديه القدرة على نقل زخم الحركة. فإذا أردتِ لشيءٍ أن يتحرَّك من مكانه الموجود فيه، أو إذا أردتِ أن تمنعي شيئًا من التحرك بعيدًا، فعليكِ أن تنقلي زخم الحركة. وفي كلتا الحالتين، ينصبُّ الاهتمام على الحركة والحركة تعني الزخم. فسواءٌ أردتِ أن تبدئي حركة أو أن تُوقِفي أخرى، فإن الفارق ليس كبيرًا بينهما. فالتغير في زخم الحركة هو الذي يتسبَّب في انحراف الأجسام عن مساراتها ويجعل الأشياء تتغيَّر، كما أن التحكُّم في زخم الحركة هو الذي يجعل الجسيمات تتَّخذ مساراتٍ معيَّنة، في هذا الشأن.»

«وفي غلاف الكُتلة، لا يُمكنكِ الحصول على زخم حركة دون توفير الطاقة الحركية المناسبة التي تلائم كتلتك. والجسيم الضخم للغاية، الذي لديه طاقة كبيرة بالفعل في كتلة سكونه، لا يحتاج إلى طاقة حركية إضافية كبيرة لإمداده بقدر معين من زخم الحركة مثل الجسيم الأخف وزنًا. على كل الجسيمات الحقيقية أن تَمتلك القدر المناسب من الطاقة إذا أرادت أن تحظى بزخم حركة. وينطبق هذا أيضًا حتى على الفوتونات التي لا تمتلك أي كتلة سكون على الإطلاق.»

وضع الوكيل يدَيهِ داخل جيبه وأخرج عددًا من الوثائق التي تبدو رسمية. «الشروط دقيقة للغاية. فالجسيمات الحقيقية مُعفاة، مُعفاة من أي دَين للطاقة شريطة أن تَلتزم بالشروط. يُمكنها التجوُّل كما تشاء، وإلى الحد الذي ترغب فيه. إنها حرة تمامًا في أن تجيء وتذهب.» كما أشار قائلًا: «وربما قد رأيتِ مبدأ: «ما لم يكن ممنوعًا فهو إلزامي.»»

ردَّت أليس متلهِّفة كي تستعرض معلوماتها: «نعم، رأيته. لقد رأيت ذلك في بنك هايزنبرج وقد أخبرتْني المديرة عن زخم الحركة و…»

واصل الوكيل حديثه في حماس دون أن يتوقَّفَ في الواقع ليَستمِعَ إلى رد أليس: «ثمة مبدأ آخر ينصُّ على أن «الممنوع من الأفضل فعله بسرعة كبيرة». هذا هو المبدأ الذي تتبعُه الجسيمات الافتراضية. ليس من المعتاد أن تُناقَش مثل هذه المسائل في المُجتمَعات الكلاسيكية المحافظة إلا أن لها دورًا مهمًّا للغاية لتلعبَه في العالم. تتصرَّف الجسيمات الافتراضية بطرق تنصُّ القوانين الكلاسيكية على أنها ببساطة غير مسموح بها.»

سألت أليس في براءة: «كيف يُمكن لذلك أن يحدث؟ فبالتأكيد إذا كان شيء ما غير مسموح به، فمن غير المُمكِن لأيِّ جُسَيم أن يكون قادرًا على فعله.»

في هذه المرة استمَعَ الوكيل إليها وأجاب سؤالها. قال الوكيل: «إن التذبذُبات الكَميَّة هي التي تسمَح بهذا. إذا كنتِ قد ذهبتِ إلى البنك فستذكُرينَ أنه من المُمكن للجُسَيمات أن تحصل على قروض للطاقة لفترة زمنية قصيرة، وكلَّما زادت كمية الطاقة قصر الوقت بالتأكيد. وربما تكونين قد سمعتِ تعبير: «الصعب نفعله على الفور، والمستحيل يتطلب وقتًا أطول بقليل.» حسنًا، في ميكانيكا الكَم المستحيل لا يستغرق وقتًا أطول قليلًا، بل يستمرُّ لفترة أقصر قليلًا. يُمكن للجُسَيمات الافتراضية التمتُّع بكل فوائد الطاقة التي لا تَمتلكُها، لفترة قصيرة على سبيل التجربة المجانية. ويَشمل هذا القُدرةَ على نقل زخم الحركة.»

مفهوم الجُسَيم ليس واضحًا في نظرية الكَم كما هو واضح في الفيزياء الكلاسيكية. تَحمل الجسيمات الطاقة وتقوم بتوصيلها في صورة كَميَّة، في حزم مُنفصِلة ومُتمايزة. ويكون للجسيمات في كثير من الأحيان كتل محدَّدة تُميِّزُها بوضوح عن الجسيمات الأخرى، ويمكنها أن تحمل مقادير معينة من كميات أخرى، مثل الشحنة الكهربية. وتكون للفوتون كتلة سكون تُساوي صفرًا (وهي أيضًا قيمة محدَّدة). وللجُسَيمات الحقيقية — تلك التي لها وجود طويل الأمد — علاقات وطيدة بين قيم الكُتلة والطاقة وزخَم الحركة. وحيثما لا يكون للجُسَيمات سوى وجود عابر ولحظي، فيُمكِن تخليقها وتدميرها، فإنها لا تخضع لمثل هذه القواعد الصارمة، وقد تكون التذبذبات الكَميَّة في طاقتها هائلة.

يَنطبق هذا على وجه الخصوص على تلك الجُسَيمات التي تتعرَّض للتبادُل من أجل حث التفاعل بين الجسيمات الأخرى. وتكون كامل طاقة مثل هذه الجسيمات عبارة عن تذبذباتٍ كمية. فهي تنشأ فعليًّا من لا شيء؛ فالفراغ ليس خاليًا بشكل كامل، لكنه عبارة عن كتلة مُضطربة مائجة من هذه الجُسَيمات قصيرة الأجل.

قالت أليس بتفكُّر: «لا بد أن تكون تجربةً لفترة قصيرة.»

«نعم، إنها كذلك، إنها كذلك. لكنها بلا مقابل، كما ترَين، ولذلك فالكلُّ يُريدها. ستفهمين الجسيمات الافتراضية أكثر بمجرَّد رؤيتها.»

تأفَّفت أليس قائلة: «لكني لا أستطيع رؤيتها بكل تأكيد، وتلك هي المعضلة.»

ردَّ الوكيل بصرامة: «لا يُمكنكِ رؤيتها في الوقت الحالي، لكنك ستفعلين عندما تَرتدين خوذتي للواقع الافتراضي.» مشى سريعًا مبتعدًا في الاتجاه الذي أتيا منه، وتمنَّت أليس ألا تكون قد ضايقته. هدأ روعها عندما عاد بعد وقت قصير حاملًا خوذة ضخمة تبدو ذات تقنية عالية. كان لها قناعٌ شفَّاف يغطي الجزء الأمامي منها بالكامل، وكان ثمَّة سلك طويل متصل بمقبس في الجزء الخلفي منها. تلوى السلك مبتعدًا في الممرِّ الذي كان قد جاء منه حتى تلاشى على البعد وأصبح خارج مجال الإبصار. قال في انتصار: «ها هي ذي، معجزة التقنية الحديثة. فقط ارتدِ هذه وسوف ترين عالم الجسيمات الافتراضية.»

شعرت أليس بقليل من التوتُّر وهي تتأمل الخوذة مليًّا. كانت ضخمة وبدت معقدة للغاية، حتى إنها قد شعرت بقليل من التشاؤم. ومع ذلك إن كانت هذه ستُظهر لها الجسيمات الافتراضية التي سمعت عنها طوال الوقت، فقد كانت على استعداد لتجريبها. ارتدَت الخُوذة على رأسها، وكانت ثقيلة جدًّا. مدَّ الوكيل يدَه إلى الخُوذة وأجرى بعض التعديلات على جانب رأسها؛ حيث لم تكن أليس قادرةً على الرؤية. أصبحت الرؤية ضبابية عبر القناع وأصبحت مليئة بنقاط صغيرة متلألئة و...

عندما اتَّضحت الرؤية من خلال القناع، كان المشهد قد تغيَّر تمامًا. كان ما زال في استطاعة أليس أن ترى الإلكترونات في مستوياتها المختلفة، لكنها الآن بدلًا من أن كانت تظهر داخل بناية طويلة، فقد رأتها مُتداخِلة في شبكة من خطوط برَّاقة تربط كل إلكترون بالآخر، بحيث بدَت قريبة الشبه للغاية بذُبابٍ التصق بشبكة عنكبوت ضخمة لها خيوط لامعة. حين أمعنت النظر في هذه الخيوط استطاعت أن ترى أنها قد كانت في الواقع

مكوَّنة من فوتونات، لكنها فوتونات مختلفة بوضوح عن تلك التي كانت رأتها من قبل في الأكاديمية.

كانت جميع الفوتونات التي قابلتها من قبل تتحرَّك بسرعة شديدة، لكنها على الأقل كانت تتحرَّك بأسلوبٍ طبيعي. كانت تبدأ في أحد المواضع وبعد وقتٍ قليل تُصبح في موضع جديد، وحتى لو لم تكن مواضعُها تتحدَّد بدقة أبدًا، ففي أثناء الفترة الفاصلة كانت تمرُّ عبر جميع النقاط الموجودة بين الموضعَين. لم تتخيَّل أليس أبدًا أنه من المُمكِن أن تتحرَّك هذه الفوتونات بأيِّ طريقة أخرى، لكن بدا أن بعضَ هذه الفوتونات الافتراضية كانت ناجحةً في فعل هذا. عندما نظرت إليها، وجدت أنه من الصعب للغاية تحديد الاتجاه الذي كانت تتحرَّك فيه، أو في الواقع إذا ما كانت تتحرَّك على الإطلاق بأيِّ أسلوب طبيعي. فأيُّ خيط في الشبكة، يُمثِّل سلوك أحد الفوتونات، يبدو وكأنه يظهر في نفس اللحظة في موضع كلا الإلكترونَين اللذين يربط بينهما دون أن يتحرك ظاهريًّا بالطريقة الطبيعية من أحدهما إلى الآخر. وبعدها تخبو هذه الوصلة بينما تظهر وصلات أخرى في أماكن أخرى في شبكة الفوتونات العظيمة التي تربط الشحنات الكهربائية لجميع الإلكترونات معًا.

لقد كان بالفعل مشهدًا خلابًا، أو بالأحرى كان مُميَّزًا. فكانت الفوتونات الافتراضية تتحرَّك في كل اتجاه يمكن تصوره، وفي هذا الوقت بدت بعض الفوتونات وقد أتقنَت فنَّ الانتقال من موضع إلى آخر دون أن تحتاج إلى قضاء أيِّ وقتٍ بين الحدثين.

بينما كانت أليس تُشاهد هذا المنظر العجيب في اهتمام، أطلقت الخوذة صوتَ طنين بجانب أذنها، متبوعًا في الحال بصوت انفجارٍ صغير مُرتفِع. لمع المشهد أمامها وعاد إلى المنظر العادي الذي كانت قد رأته قبل أن تَعتمر الخوذة. صاحت أليس بصوت عالٍ مُتذمِّرة بسبب فقدانها للصورة الخلابة. قال الوكيل: «أنا آسف، أخشى أن ثمة عدَّاد للوقت مُدمج في آلية العمل، فقد أردتُ جعلها تعمل بالعملات المعدنية. تفهمينني؟»

كانت أليس ما زالت مفتونة للغاية بالمشهد الذي كانت تشاهده منذ قليل كي تُبدي اهتمامًا كبيرًا باعتذار الوكيل، وحاولت أن تصف له ما رأته. ومثله كمثل كل الناس الذين قابلتهم في هذا العالم الغريب، فقد بدأ من فوره شرحًا مطولًا.

وُجِدَ أن الجسيمات في نظرية الكَم تُظهِر خصائص ترتبط كلاسيكيًّا بالموجات المتواصلة. وبالمثل، وُجِدَ أن مجالات الطاقة الكلاسيكية مكونة من جسيمات. وأي تفاعل كهربي بين أي جسيمين مشحونَين سببه تبادل الفوتونات فيما بينهما. ويكون لهذه الفوتونات وجود وجيز، وهذا يعني

أن لها تمركزًا جيدًا في الزمن؛ ومن ثمَّ تكون طاقتها غير محددة. إنها جسيمات افتراضية، فمن الممكن أن تتذبذب طاقتها وزخم حركتها بشكلٍ كبيرٍ بعيدًا عن القيم التي تكون طبيعية بالنسبة إلى الجسيم الذي يستمر وجوده لفترة زمنية طويلة.

«تلك مجرَّد سمة أخرى للطريقة التي تؤدِّي بها الجسيمات الافتراضية الأشياء التي لا يمكن للجسيمات الحقيقية أن تؤديها. إنها تشبه بعض الشيء اختراق الحاجز إلى حدٍّ ما. أعتقد أنك قد رأيتِ بعض حالات اختراق الحاجز بالفعل.»

ردَّت أليس في حذر: «قيل لي إني قد فعلت. فقد رأيتُ أحدهم يخترق بابًا عندما جئت إلى هنا في البداية، وقد أخبروني بأنه يستطيع فعل هذا لأن دالَّته الموجية تنتشر إلى داخل الباب وعبره، مما يُعطي احتمالية طفيفة لأن يُرصَد على الجانب الآخر.»

«هذا صحيح تمامًا. فهذا الجانب من دالته الموجية سمح لصديقك أن يخترق الحاجز الذي من شأنه أن يوقف أيَّ جسيم كلاسيكي حقيقي. لم يكن لدى الجسيم طاقة كافية كي يَعبُر الحاجز، ولذلك عندما كان يخترق البابَ كان في نوع ما من الحالات الافتراضية. ثمة عدد قليل جدًّا من الجسيمات — إن وجد — تكون حقيقية بالكامل. فلدى جميع الجسيمات تقريبًا بعض السمات الافتراضية، بالرغم من أن بعضها يكون أكثر افتراضية من البعض الآخر. فوتونات التبادل التي كنتِ تنظرين إليها منذ قليل هي افتراضية بالكامل تقريبًا.

من المتعارَف عليه عمومًا أن الجسيمات الافتراضية لا تتبع القواعد، على الرغم من عدم قدرتها في التملص منها لزمن طويل. وهذا يعني أن في استطاعتها فعل أشياء لا تملك فعليًّا طاقة كافية لفعلها. فجسيمات التبادل الافتراضية هذه، مثل الفوتونات التي رأيتها، هي التي تسبب التفاعُلات بين الجسيمات الأخرى. يُمكنها أن تخترق الحواجز التي قد توقف جسيمًا حقيقيًّا كلاسيكيًّا، وهذا يشمل حاجز الزمن نفسه. ويُمكنها أن تتحرَّك على نحو مكاني، بينما لا يُمكن للجسيمات الحقيقية أن تتحرَّك إلا على نحو زمني ... هذا يعني أنه على الرغم من أن الجسيم الحقيقي يمكنه أن يمكث في نفس الموضع بينما يتغيَّر الزمن، فإنه لا يمتلك القدرة على المكوث في نفس الزمن بينما يتغيَّر موضعه. أما الجسيم الافتراضي فلديه القدرة على فعل الأمرين، فيُمكنه التحرُّك صعودًا وهبوطًا في الزمن إذا ما اختار ذلك.»

قالت أليس: «هذا يبدو غريبًا جدًّا في الواقع. أنا لستُ مندهشة من أن الجسيمات الحقيقية ليس في إمكانها فعل هذا، وبأنها تتحرَّك فقط من الماضي إلى المستقبل.»[٢]

قال الوكيل مُصحِّحًا لها المعلومة بعض الشيء: «حسنًا، في الحقيقة هذا ليس صحيحًا تمامًا. فبالتأكيد صحيح أن أغلب الجسيمات تتحرَّك في الزمن إلى الأمام، بالضبط كما تَفترضين. ومع ذلك تصبح أغلب الجسيمات افتراضية إلى حدٍّ ما أحيانًا، كما في أثناء الاصطدام على سبيل المثال، ولذلك فإنه من الممكن لجسيم حقيقي أن يرجع في الزمن. ففي لحظة يتحرَّك في الزمن إلى الأمام بطريقة جديرة بالاحترام، فيها التزامٌ بالقانون، وفي اللحظة التالية يجد أنه قد استدار تمامًا ويجد نفسه يتحرَّك إلى هبوط نحو الماضي. وبالرغم من أنه قد يُفاجئك أن تسمعيني أقول ذلك، فإن هذه طريقة مسموح للجسيم الحقيقي أن يتصرَّف وفقها.»

صاحت أليس فجأة، ما أفزع الوكيل وهو في خضم شرحه المتأني: «يا إلهي! أعتقد أن هذا بالتأكيد ما حدث لي في وقت سابق. لم أستطع تخيل ما حدث لي عندما كنت أمشي في الحديقة، وبدا كل شيء وكأنه انعكس من حولي، لكني الآن أدرك أنه لم يكن الجدول والفراشات هي التي تتحرَّك إلى الوراء. لقد كنتُ أنا التي تسافر في الزمن إلى الوراء!»

أخبرت أليس مرافقَها بكل ما استطاعت تذكُّره عن الحادثة وقد وافق على تفسيرها. قال لأليس: «إنها بالتأكيد تبدو لي كحالة واضحة لإنتاج جسيم مضاد.»

صاحت أليس: «جسيم مضاد! لم أكن أعرف أن لهذا أي علاقة بالجسيمات المضادة. أتذكَّر رؤيتي لها في بنك هايزنبرج، لكنني لا أفهم لماذا يُمكن أن تكون لها أي علاقة بالحالة الحالية.»

قال الوكيل: «لقد كنتُ أظن أنه أمرٌ واضح.» على الرغم من أن أليس لم تشعر أنه يحمل أدنى درجات الوضوح. «لماذا؟ ألا تُلاحظين أنه عندما يتحرَّك جسيم ما في الزمن إلى الوراء فإنه يبدو للمشاهِد كشيء عكسه تمامًا، يتحرك في الزمن إلى الأمام بالطريقة الطبيعية. فلنتدارس حال الإلكترون. إن لديه شحنة كهربية سالبة؛ لذلك فإنه عندما يتحرَّك من الماضي إلى المستقبل بطريقة طبيعية فإنه يحمل شحنته السالبة إلى المستقبل. ولكنه لو تحرك، من ناحية أخرى، من المستقبل إلى الماضي، فإنه يحمل هذه الشحنة السالبة من المستقبل إلى الماضي، وهو ما يماثل انتقال شحنة موجبة من الماضي إلى المستقبل. بأي من الطريقتَين فإن ذلك يجعل الشحنة الكلية في المستقبل موجبة أكثر. وتبدو لراصِدٍ خارجي كبوزيترون أو جسيم مضاد للإلكترون.

ما حدث لك يبدو لباقي العالم وكأن فوتونًا يحمل طاقة عالية استثنائية يتخلَّى عن طاقته من أجل أن يخلق أليس وأليس مضادَّة. أليس المضادة سوف تَمضي قدمًا حتى تصطدم بأليس ما والاثنتان سوف تُفنيان إحداهما الأخرى بشكل متبادَل، محولتَين طاقتيهما مجددًا إلى فوتونات.»

صاحت أليس في بعض الفزع: «كيف يُمكن لهذا أن يحدث؟ لا أفهم كيف يمكن لأليس المضادة هذه أن تجد أليس ثانية كي تصطدم بها على أيِّ حال.» ثم استنتجت في تحدٍّ: «لا توجد منِّي إلا أليس واحدة فقط وأنا بكل تأكيد لم أفنَ.»

«حسنًا، ولكن ما وصفتِه للتو هو كيف يبدو هذا لبقية العالم. أما الطريقة التي يبدو بها لكِ أمرٌ مختلف تمامًا، مختلف تمامًا بالكلية. بالنسبة إليك فإن الفناء كان سيأتي قبل الخلق بالتأكيد.»

أجابت أليس بحدة نوعًا ما: «لا أفهم أيًّا من ذلك بكل تأكيد. كيف يُمكن لأي شيء أن يفنى قبل أن يُخلق؟»

«بالتأكيد، فهذا هو الترتيب الطبيعي للأشياء عندما ترجعين في الزمن إلى الوراء. وبطبيعة الحال عندما تتحرَّكين في الزمن إلى الأمام، تتوقَّعين أن يأتي الخلق قبل الفناء، أليس كذلك؟»

ردت أليس: «نعم، بالتأكيد، أفعل.»

«حسنًا، في هذه الحالة، إذا تحرَّكت إلى الوراء في الزمن، فطبيعي من وجهة نظرك أن تتوقَّعي أن يأتي الخلق بعد الفناء. في النهاية أنت تختبرين الأحداث في ترتيب معكوس. كنت أتوقع أنك سوف تدركين ذلك بنفسك.»

«في هذه الحالة، كنت تسيرين في هدوء وطمأنينة مع ميكانيكي الكَم وفجأة اصطدمتِ مع أليس المضادة. وبالنسبة إلى مرافقكِ فإنك وأليس المضادة قد حدث لكما إفناءٌ تام وحَملت طاقتيكما فوتوناتٌ عالية الطاقة.»

صاحت أليس: «يا إلهي! يا للميكانيكي المسكين. لا بد أنه يعتقد أني قد دُمِّرت إذن! كيف يُمكنني أن أجده كي أُطمئنَه عليَّ؟»

طمأنها الوكيل: «هذا لا يقلقني كثيرًا؛ فبطبيعة الحال ميكانيكي الكَم على دراية بإفناء الجسيمات المضادة؛ لذلك فسوف يعرف أنك ببساطة قد تحركتِ إلى الوراء في الزمن. بلا شك سوف يتوقَّع أن يصطدم بك لاحقًا أو ربما عاجلًا، بناءً على مدى ذهابك بعيدًا إلى الوراء. على أي حال، فقد حولتك عملية الإفناء هذه إلى أليس مضادة وقد تحرَّكتِ

إلى الوراء في الزمن حتى خُلقت أنت وأليس معًا على يد فوتون عالي الطاقة. هكذا يبدو الأمر لأيٍّ مشاهد. أما بالنسبة إليك فيبدو الأمر كأنك توقفتِ فجأة عن التحرُّك إلى الوراء في الزمن، بل بدأت التحرُّك إلى الأمام على نحو طبيعي. لم يكن باستطاعتك رؤية الفوتون الذي سبَّب لكِ هذا. لم يكن في استطاعتك لأنه لم يعدْ له وجود في اللحظة التي عكست فيها سيرك عبر الزمن؛ لذلك فكلتاكما، أليس وأليس المضادة، كنتما في مستقبل لم يحدث الوصول إليه أبدًا.»

«تُدركين الآن أنه على الرغم من أنه قد يبدو لأي أحد ينظر إليكِ أنه توجد ثلاثة أليس، اثنان أليس وواحِدة أليس مضادَّة، في الحقيقة كانت جميعها أنتِ نفسك. فلأنكِ رجعتِ إلى الوراء في الزمن إلى الفترة نفسها التي كنتِ قد عشتها بالفعل عندما كنتِ تمشين مع ميكانيكي الكَم. عندما عدتِ إلى طبيعتك بفعل عملية الإنتاج الزوجي، فقد عشت الفترة نفسها لمرة ثالثة، والآن أصبحتِ تتحرَّكين لمرةٍ أخرى إلى الأمام في الزمن.»

«كان هذا الجزء من حياتك يُشبه إلى حدٍّ ما طريقًا متعرِّجًا صعودًا على جانب تل، يصعد في البداية نحو الشرق، ثم يرتدُّ بحدةٍ ليسير نحو الغرب قبل أن يلتفَّ عائدًا إلى الشرق مرةً أخرى. إذا تسلَّقتَ جانب هذا التل صعودًا نحو الشمال فمن المُحتمَل أن تظني أنكِ قد قطعتِ ثلاث طرق مختلفة، بينما في الحقيقة تكونين قد قطعتِ الطريق نفسه ثلاث مرات. يحدث الأمر نفسه في إنتاج الجسيمات المضادة؛ فالجسيم المضاد أو نقيض الجسيم هو جزءٌ من طريق يسير في الاتجاه المعاكس.»

في هذه اللحظة صدر صوت أزيز خافت من الخوذة وسطع ضوء أخضر طفيف في زاوية القناع. قال الوكيل: «أعتقد أن الخوذة مشحونة بالكامل من أجل تجربة عَملية أخرى. إذا نظرتِ بإمعان هذه المرة، فلا بد أن تكوني قادرة على ملاحظة بعض تأثيرات الرتبة الثانية.»

قام بتعديلات على جانب الخوذة ومرةً أخرى أصبح المشهد ضبابيًّا ...

اتضحت الرؤية مجددًا وظهر لها منظر تتداخل في جميع أجزائه شبكة من خطوط الفوتونات. وعندما نظرت أليس بإمعان أكثر إلى منطقة معينة، استطاعت أن ترى أن قليلًا من الوصلات الساطعة كانت مقطوعة. فاستطاعت أن ترى في منتصَف خيط فوتون لامع عقدة ما، حيث تغيَّر الفوتون في موضع ما في المنتصف إلى ما استطاعت التعرف عليه بأنه إلكترون وبوزيترون، أي إلكترون ونقيض الإلكترون. وسرعان ما اتحد هذا الزوج مجددًا مكوِّنًا حبلًا من الفوتون واصلَ طريقه كي يصل نفسَه بإلكترون حقيقي.

مع استمرار أليس في التحديق عن قرب أكثر استطاعت أن ترى فوتونًا آخر يصدر بصورة خافتة من الإلكترون في العقدة. وفي مكان ما على طول مسار هذا الفوتون استطاعت أن ترى حدودًا خافتة لعقدة إلكترون وبوزيترون أخرى. وينبثق من هذه العقدة فوتونات أكثر خفوتًا. وإذا أمعنت النظر عن قرب أكثر لاستطاعت أن ترى عقد إلكترون وبوزيترون خافتة على طول حبال هذه الفوتونات. بحسب ما استطاعت رؤيته استطاعت أن ترى فوتونات تخلق عقد إلكترون وبوزيترون مغلقة وإلكترونات أو بوزيترونات تُطلق فوتونات تخلق المزيد من أزواج الإلكترونات والبوزيترونات. استمر هذا طوال الوقت في غزارة لا نهائية واضحة، لكنها كانت تصبح باهتة أكثر فأكثر مع كل مستوى إضافي من التعقيد. أصبحت أليس مشوشة الذهن تمامًا وأصابها الدوار مع ضغطها على عينيها في محاولتها لأن ترى نهاية ما لهذا التواتُر. وأخيرًا جاءت النهاية. سمعت أزيزًا وطقطقةً من الخوذة واختَفى النمط بأكمله من أمام عينيها.

قالت بنبرة اتهام إلى حد ما: «أعتقد أنك قلت إن الإلكترونات كانت مترابطة بتبادل الفوتونات. أنا متأكِّدة من أني قد رأيت إلكترونات بين الجسيمات الافتراضية. الكثير منها جدًّا في الحقيقة.»

«آه، نعم، لقد فعلت. تعمل الإلكترونات الحقيقية الأصلية كمصادر للمجال الكهربي بالرغم من أن الأصح قوله إن الشحنات الكهربية التي تحملها الفوتونات هي ما تنتج المجال. لا تهتم الفوتونات بأي شيء فعليًّا سوى بالشحنة الكهربية، لكن أينما وجدتِ مثل هذه الشحنة فسوف تحصلين دائمًا على سحابة من الفوتونات الافتراضية معلَّقة حولها. فإذا جاء جسيم آخر مشحون بالجوار فإن هذه الفوتونات تكون متاحة للمبادلة، وكي تُنتج قوةً بين الجسيمَين. يجب أن يحدث إنتاج للجسيمات المتبادلة كي تجري مبادلتها ثم تُفنى بعد ذلك عند التقاطها. من الواضح أن عددها لا يظل ثابتًا؛ لذلك يجب أن تكون بوزونات.

تسير العلاقة بين الفوتونات والشحنة في كلا الاتجاهَين؛ فبالضبط كما تُنتج الجسيمات المشحونة فوتونات، تحبُّ الفوتونات أيضًا أن تنتج جسيمات مشحونة، ولكن لا يمكنها أن تُنتج جسيمًا مشحونًا واحدًا فقط؛ لأن كمية الشحنة الكهربية الموجودة لا يجوز لها أن تتغير. وهذه قاعدة أخرى، وهي لا تسمح بأي قدر من عدم اليقين. ومع ذلك ما يمكن للفوتونات أن تفعله هو أن تُنتج إلكترونًا وإلكترونًا مضادًّا أو بوزيترونًا، في الوقت نفسه. وبما أن أحدهما له شحنة سالبة وشحنة الآخر موجبة، فإن الشحنة الإجمالية في الكون لم تتغير. كان ذلك ما رأيته. فتنتج الفوتونات الافتراضية أزواجًا افتراضيةً من

الإلكترونات والبوزيترونات، التي يُفني بعضها بعضًا ثم تعود لتكوِّن فوتونات. ومع ذلك، ففي خلال الحياة الوجيزة للزوج، ولأن كليهما جسيمان مشحونان، فمن المحتمل أن ينتجا المزيد من الفوتونات، وتلك الفوتونات من الممكن أن تنتج المزيد من أزواج الإلكترونات والبوزيترونات، وهكذا دواليك.»

لا يُمكن فقط إنتاج الفوتونات، بل يمكن كذلك إنتاج جسيمات مثل الإلكترونات، على الرغم من أن هذه الجسيمات لا بد أن يكون إنتاجها مصحوبًا بإنتاج جسيماتها المضادة، بحيث لا يحدث تغيير في الشحنة الكهربية الكلية. ويلزم وجود الطاقة لإنتاج كتل السكون لمثل هذين الجسيمين، لكن هذه الطاقة اللازمة قد تتوفر لفترة وجيزة على صورة تذبذبات في الطاقة. من الممكن أن تحدث مثل هذه التذبذبات حتى مع عدم وجود طاقة في البداية، ويمكن إنتاج الجسيمات فعليًّا من لا شيء. إن «الفضاء الفارغ» هو في الحقيقة وسط إنتاج هائج لأزواج من الجسيمات والجسيمات المضادة.

قالت أليس: «يا إلهي. تبدو الأمور شديدة التعقيد. أين ينتهي هذا كله؟»

«حسنًا، إن هذا لا ينتهي. إنه يستمر على هذه الصورة إلى الأبد، فتزداد الأمور تعقيدًا أكثر فأكثر. إلا أن احتمال أن ينتج الإلكترون فوتونًا، أو أن ينتج الفوتون زوجًا من الإلكترون والبوزيترون ضئيلٌ إلى حدٍّ كبير. هذا يعني أن السعات الأكثر تعقدًا تكون أضعف، وفي النهاية يحول ضعفها دون رصدها. ولا بد أن تكوني قد رأيتِ هذا.»

قالت أليس: «حسنًا.» وقد كان رأسها ما يزال يدور وهي تحاول أن تتتبَّع ما رصدته منذ قليل وما قيل لها. «كل ما يُمكنني قوله هو أنه لم تَسبق لي رؤية شيء مماثلٍ لهذا من قبل.»

عاد الوكيل ليقول لها: «ربما يكون هذا قد حدث، فما رأيته للتو لا يُشبه أي شيء آخر في أي مكان. مع ذلك فأنا مُندهش قليلًا من أنك قد تمكَّنتِ من رؤية لا شيء قبل أن تأتي إلى هنا.»

ردت أليس بسخط: «أنا متأكِّدة من أني لا أُوافقكَ الرأي في هذا. ربما لم أسافر كثيرًا، لكني رأيتُ شيئًا على الرغم من ذلك. لمعلوماتك فحسب.»

قال وكيل الحالة: «ليس عندي أي شك في أنكِ قد فعلتِ، فأنا متأكِّد من أنك قد جئتِ من مكان جذاب جدًّا، لكنه من السهل نسبيًّا أن يُرى المرءُ شيئًا، كما تعرفين. لكنه من الأصعب كثيرًا أن يرى لا شيء. أنا لا أعرف كيف تمكنتِ من فعل هذا دون مساعدة خوذة الواقع الافتراضي خاصتي.»

قاطعته أليس قائلة: «انتظر لحظة.» فقد بدأت تشكُّ في وجود سوء فهم بينهما. «هل من الممكن أن تخبرني من فضلك ماذا تعني بلا شيء؟»

«بكل تأكيد، نعم. أعني بلا شيء الغياب الكامل لأي جُسَيمات حقيقية على الإطلاق. وكما تعرفين يُطلَق على هذا مسميَّاتٌ كثيرة مثل الفراغ، والخواء، وذهاب كل الأشياء، أو أيًّا كان ما تريدين أن تصفيه به.»

كانت أليس مُندهِشة تمامًا بمدى هذا المفهوم السلبي. «هل يبدو ذلك مختلفًا بأي شكلٍ من خلال خوذتك؟ كنت أعتقد أن لا شيء يبدو مثل لا شيء مهما كانت الطريقة التي تنظر بها إليه.»

«بالتأكيد يوجد فرق، فربما لا يكون الخواء أفضل جار، ولكن ثمة عدد وافر من الأنشطة الخفية، تعالَي لترَي بنفسك.»

انطلق الوكيل بخطًى سريعة نشطة وتبعته أليس عبر أرضية مكتبه. أصبح من الصعب عليها أكثر أن تُصدِّق أنهما ما زالا داخل مكتب أو مبنًى من أي نوع، إذ بدا المكان ضخمًا بشكل ملحوظ. سارا لبعض الوقت وأليس تكافح تحت ثقل الخوذة وكابل الأسلاك الذي كان ما زال يمتد خلفها. قالت لنفسها: «أتساءل ما مدى طول هذه الوصلة. أنا متأكدة من أني سوف أصل إلى نهايتها قريبًا.»

سرعان ما غابت الوحدات السكنية الدورية التي رأت فيها حالات الإلكترون عن نظرها وأصبحت خلفهما، لكنهما واصلا السير. وفي اللحظة التي كانت فيها أليس على وشك أن تتوسل من أجل أن يتوقفا لأخذ قسط من الراحة، رأت أمامهما ما بدا إلى حدٍّ ما مثل شاطئ بحيرة أو بحر هادئ للغاية. ومع اقترابهما أكثر استطاعت أن ترى أنها كانت بحيرة ضخمة للغاية، هذا إذا كانت بحيرة في الأصل. كانت مُمتدَّة أمامهما إلى أبعد مما كانت قادرة على الرؤية، في مساحة ممتدَّة لا تبدو لها حدود. لكن إذا كان هذا بحرًا فقد كان أغرب منظر بحر رأته أليس على الإطلاق. لقد كان هادئا جدًّا، في سكون تام ومطبق باستثناء اهتزازات طفيفة، ترى بالكاد على السطح. لم يكن أزرق اللون أو أخضر أو داكنًا كلَون النبيذ أو له أي لون آخر سمعت أليس به يُستخدم في وصف الماء. كان بلا لون تمامًا؛ فكان مثل ليلة كثيفة وصافية ولكنها بلا نجوم.

قالت أليس وهي تلهث، وقد سيطر عليها فراغ المشهد الذي ملأ عينيها: «ما هذا؟»

ردَّ الوكيل: «لا شيء. هذا لا شيء، إنه الخواء.»

واصَلَ حديثه قائلًا: «تعالَي الآن، دعيني أشغِّل الخوذة، وعندها تستطيعين أن ترصُدي النشاط في الخواء.»

مدَّ يده إلى الخوذة ومرةً أخرى فعل ما فعله من قبل. وأصبحت رؤية أليس، رؤيتها للاشيء ضبابية ...

اتضحت رؤيتها لتكشف عن مشهد مماثل جدًّا لآخر مشهد رأته عبر الخوذة. مرةً أخرى رأت شبكةً من حبال براقة. ومع ذلك، في هذه المرة لم تر الحبال تنتهي عند الإلكترونات الحقيقية، والتي كانت تبدو من قبل محتجَزة في الشبكة ولكنها كانت في الواقع مصدرها. الآن لم تكن توجد أي جسيمات حقيقية، فقط الافتراضية. فقد كانت الفوتونات تخلق أزواجًا من الإلكترونات والبوزيترونات. وكانت الإلكترونات والبوزيترونات تُنتج المزيد من الفوتونات، بالضبط كما رأت من قبل. في السابق، نشأت الشبكة من الإلكترونات الحقيقية والتي كانت مصدرها ومرتكزها في عالم الجسيمات الحقيقية. أين كان مصدرها؟ كانت أزواج الإلكترونات والبوزيترونات تنتج عن الفوتونات؛ وكانت الفوتونات تنتج عن أزواج الإلكترونات والبوزيترونات، التي كانت تنتج عن الفوتونات. حاولت أليس تقفِّي الأثر على امتداد مسارات الجسيمات كي تجد مصدرها، لكنها وجدت أنها كانت تدور في دوائر طوال الوقت. شعرت بأنها لا بد أن تكون قد فقدت تركيزها، فحاولت مجدَّدًا تتبُّع المسارات بحرص أكبر حين سمعت صوت الأزيز المعتاد والطقطقة العالية واختفى المشهد كله.

مرةً أخرى، شرحت أليس ما رأته للوكيل وأخبرته كيف كانت غير قادرة على أن تُقرِّر أي الجسيمات هي التي كانت تنتج الأخرى. ردَّ الوكيل: «لست متفاجئًا فهي جميعًا يُنتج بعضها بعضًا، كما تعلمين. إنه موقف مشابه لفكرة الدجاجة والبيضة، لكن في حالتها فهي جميعًا تضع البيض وتفقس في نفس الوقت.»

سألت أليس: «كيف يُمكن لهذا أن يحدث. فلا بد من وجود مصدر ما. لا يمكن أن تكون قد جاءت من لا مكان.»

ردَّ عليها الوكيل: «أخشى أن هذا مُمكِن وهذا ما حدث بالفعل. إن كل ما يمنع إنتاج الجسيم والجسيم المضاد يكون عادةً الحاجة إلى توفير طاقة من أجل كتلة سكون الجسيمات، أما الجسيمات الافتراضية فلا يُثبِّطها هذا حتى. الأمر كله تذبذب كَمي كبير هائل.»

سألت أليس: «هل هو حقيقي إذن؟ هل كل تلك الجسيمات موجودة بالفعل؟»

«آه، نعم، إنها حقيقية تمامًا، حتى لو لم يكن هذا بالمعنى التقني للجسيمات الحقيقية. فهي جزء أساسي من العالم مثلها مثل أي شيء آخر. إلا أنني أعتقد الآن أنك

قد رأيتِ من خلال الخوذة بقدر ما تحتاجين.» واصل حديثه وهو يرفع الجهاز الثقيل عن رأس أليس. «لم نعدْ بحاجة إليها بعد الآن؛ لذلك سأقوم بتشغيل آلية ترجيع كابل الأسلاك.» لمس زرًّا على جانبها وبدأت الخوذة ترجع نفسها على طول كابل الأسلاك فانطلقت سريعًا على الأرض في الاتجاه الذي كانا قد أتيا منه، مثل عنكبوت آلي، حتى اختفت عن الأنظار.

بالرغم من أن الخوذة قد اختفت، كان رأس أليس ما زال ممتلئًا بالمشاهد الرائعة التي رأتها والتي لا تُنسى، وأخذت تقلبها في رأسها وهي تمشي في صمتٍ بجوار وكيل الحالات، على طول ساحل الخواء اللانهائي.

هوامش

(١) في داخل الذرة، تكون للحالات المسموح بها للإلكترونات مستويات طاقة بينها مساحات عريضة، ولا يُمكن للإلكترون أن يشغل إلا هذه المستويات فقط. ولا يُمكن للإلكترون أن يَنتقِل من إحدى هذه الحالات إلا إذا ذهَب إلى حالة أخرى خالية، وبفعله هذا تتغيَّر طاقته بكمية محدَّدة هي فرق الطاقة بين الحالتَين. الذرة في حالتها الطبيعية أو القاعدية الأرضية تكون مُستويات الطاقة الأدنى لديها مُمتلئة بالإلكترونات بشكلٍ منتظِم، لكن ثمة مستويات طاقة أعلى تكون فارغةً في المعتاد. عندما يستثار إلكترون في موضعه المبدئي فسوف يَنتهي به الحال في الأعلى في أحد هذه المستويات العليا الخالية أو يُغادر الذرَّة بالكامل.

يُمكن للإلكترون الذي تعرَّض للاستثارة وانتقل إلى مستوى أعلى أن يضمحلَّ عائدًا إلى مستوى طاقةٍ أدنى، إذا ما وجدت حالة مُتاحة. يجب على الإلكترون أن يُخلِّص نفسه من الطاقة الفائضة عند انتقاله إلى مستوى طاقة أدنى، وهو ما يقوم به عن طريق إطلاق فوتون. وهذه هي الطريقة التي تُطلَق بها الذرات الضوء. وبما أنَّ الإلكترونات جميعها تَشغَل حالات محدَّدة داخل الذرَّة، إذن فأي فوتون يَخرُج لا يُمكن أن تكون له طاقة إلا مُساوية للفارق بين الطاقة المملوكة في الأصل للمُستوى الابتدائي والنهائي لحالتَي الإلكترون. إن هذا يتسبَّب في وجود عدد ضخم من الاحتمالات، لكنه مع ذلك يضع قيودًا على الطاقة التي يَنبغي للفوتون الحصول عليها. إن طاقة الفوتون تتناسَب مع تردُّد الضوء ومن ثمَّ مع لونه؛ لذلك فطيف الضوء الناتج عن الذرة يتكوَّن من مجموعة من «الخطوط» الملوَّنة ذات تردُّدات معيَّنة. ويكون طيف نوع معين من الذرات مميِّزًا تمامًا لها.

لا يمكن للفيزياء الكلاسيكية أن تعطيَ أي تفسير لهذه الأطياف.

(٢) للجُسَيمات الافتراضية ضبابية مميَّزة، سواء كان هذا من حيث الزمان أو الطاقة. يبرز هذه الضبابية كتذبذبات في الطاقة، تتصرَّف فيها الجسيمات وكأن لديها طاقة أكبر (أو أقل) مما يجب. من المُمكن أن تظهر بالقدر نفسه كحالة من عدم اليقين في الزمن. وفي النظام الكَمي، تبدو الجسيمات قادرة على أن تكون في مكانين في الوقت نفسه (أو على الأقل تكون لديها سعات قادرة على فعل هذا).

بل إنه يُمكِن للجُسَيمات تدوير الزمن. فسَّر الفيزيائي ريتشارد فاينمان الجسيمات المضادَّة على أنها «جسيمات تُسافِر في الزمن إلى الوراء». (ريتشارد فاينمان، «الديناميكا الكهربائية الكَميَّة: النظرية الغريبة في الضوء والمادة»، دار بنجوين للنشر، نيويورك.) وهذا يُفسر كيف تكون خصائص الجسيمات المضادَّة أو نقائض الجسيمات على العكس من تلك الخاصة بالجسيمات؛ فإن الشحنة الكهربية السالبة التي تُحمل في الزمن إلى الوراء تكافئ الشحنة الموجبة التي تتحرَّك نحو المستقبل. في كلتا الحالتين تزداد الشحنة الموجبة في المستقبل، والإلكترون سالب الشحنة الذي يتحرك إلى الوراء نحو الماضي يُرى كبوزيترون موجب الشحنة، وهو جسيمه المضاد.

توجد لكل الجسيمات جُسيماتها المضادة، وهذا هو المتوقَّع تمامًا لو أنها في واقع الأمر نفس الجسيم لكنه يتصرَّف بطريقة مختلفة.

الفصل السابع

ذرات في الخواء

مشت أليس مع وكيل الحالات على طول حافة الخواء، وهي تنظر إلى السطح الذي يَغلي باستمرار ويتلألأ بشكل طفيف مع نشاط الجسيمات الافتراضية وهي تولد وتموت دون أن يلاحظها أحد.

رأت أليس اضطرابًا في السطح على بُعد بسيط من الشاطئ، نوعًا ما من انخفاض دائري في المستوى العام المنتظم. وعلى مسافة أبعد استطاعت أن ترى حُفرًا أخرى، كثير منها كان يتجمع معًا في مجموعات. بعض المجموعات كانت صغيرة جدًّا وتحتوي فقط على زوج من الأشياء الدائرية. في حين كانت مجموعات أخرى أكثر اتساعًا. استطاعت أن ترى واحدة من المجموعات تحتوي على حلقة من ستة من الأشياء مرتبة في دائرة، بينما كان ثمة أشياء أخرى مثبتة حولها من الخارج. وعلى مسافة بعيدة، استطاعت أن ترى تجمعات ضخمة تنتشر على السطح. كان أضخمها يحتوي على عدة مئات من الأشياء الدائرية، أيًّا كانت ماهيتها.

بينما كانت أليس تنظر، رأت فوتونات تقفز على فترات متقطعة من أحد هذه الأشكال المنتشرة أمامها إلى آخر. أما الفوتونات ذات الألوان الزاهية فقد بدت إلى حدٍّ ما أشبه بوهج ينطلق من سفن في وسط البحر.

تتبَّع الوكيل اتجاه تحديقها، وقال: «أرى أنكِ تُشاهدين الذرات وهي تسبح في الفراغ. تُزوِّدنا الذرات بقدر كبير من عملنا في مجال حالات الإلكترونات، بطريقة أو بأخرى. يمكن أن تري من هنا شراكات الذرات المتعددة التي أقامتها فيما بينها. وتتراوح هذه بين أعمال صغيرة لذرتين أو أعمال ضخمة لتكتلات عضوية. فلكل نوع مختلف من الذرات طيفه الخاص المميز من ألوان الفوتونات التي يشعها، ولذلك فإن الفوتونات تعمل بمثابة إشارات تساعدك في تحديد أنواع الذرات المختلفة.»[1]

اعترفت أليس بصراحة: «كنت أتساءل عن كل تلك الأشياء البعيدة هناك. لا أستطيع أن أراها بوضوحٍ من هنا. هل من الممكن أن نقترب أكثر؟»

«إذا أردت أن تنظري عن قرب إلى الذرات فيجب أن نذهب مباشرة إلى مراسي مندلييف. هناك سوف ترين كل أنواع الذرات المعروضة، مع كل العناصر المختلفة موضوعةً في ترتيب مُنتظِم.»

أرشد الوكيل أليس على طول الشاطئ حتى أصبح في مرمى بصرهما رصيف ميناء طويل للغاية وضيق، يمتد بعيدًا فوق الخواء. عند نهايته على الشاطئ كان ثمة بوابة مقوَّسة، على قمتها لافتة مكتوب عليها:

الرصيف البحري الدوري

ملك ديميتري إيفانوفيتش مندلييف

تأسس عام ١٨٦٩.

أعلن الوكيل: «ها قد وصلنا. فهناك تصطفُّ الذرات على رصيف الميناء قبل أن تنطلق لتكوِّن مركباتها الكيميائية المختلفة. غالبًا ما نطلق على هذا اسم «مرسى مندلييف» أو «الرصيف البحري الذري»، مع ذلك يشير الناس إليه أحيانًا باسم «مرسى الكون». سوف تجدين كل نوع من أنواع الذرات المختلِفة ممثلًا هنا.»

مشيا معًا أسفل اللافتة وسارا على ألواح رصيف الميناء. سارا مُتمهلَين على طول المرفأ بينما كانت أليس تنظر إلى الخط الطويل من الذرات الراسية في ترتيب على أحد الأجناب. بدَت لها كلٌّ من الذرات كحفرة على شكل بوق في السطح المستوي للخواء المحيط. ذكرها الشكل بالدوامة الصغيرة التي تراها تتكون دائمًا فوق المصرف في كل وقت تُفرِّغ فيه حوض الاستحمام، إلا أن هذه كانت تبدو ساكنة تمامًا، بلا دوران مرئي. في كل حفرة منها ينزلق السطح المحيط الأملس إلى اللاشيء نحو الأسفل من المستوى المسطح الساكن الذي يمتدُّ من حولهما في كل ناحية. ينحدر بدرجة تدريجية تكاد تكون غير مدرَكة حسيًّا في البداية، لكن الانحدار يزداد على نحو أكبر مع اتخاذها شكل القمع في الأسفل نحو المركز. كانت ثمة علامات على نشاطٍ ما يحدث في مكانٍ ما في عمق الحفرة.

سألت أليس في فضول: «لماذا توجد مثل هذه الحفر العميقة؟ فبما أننا نَنظُر إلى لا شيء، كنتُ أتوقع أن يكون السطح كله مستويًا وعديم الشكل.»

ردَّ عليها: «هذا بئر جهد.»

واصلت أليس حديثها في فضول: «أي نوع من الآبار هذا؟ فأنا أعرف آبار الحدائق التي توفر الماء، وأعرف أيضًا آبار البترول، وأكاد أتذكَّر شيئًا عن رؤية بئر دبس السكر في كتاب كنت أقرؤه مؤخرًا، لكن ما الذي تحصل عليه من بئر الجهد؟»

«إنه مصدر الجهد بكل تأكيد، فلا بد من وجود مصدر لتوفير الماء في بئر الحديقة. هنا في هذا البئر توجد شحنة كهربية كمصدر للجهد الكهربي في بئر الجهد. يجب أن تكوني قد عرفتِ الآن ماذا يوجد في هذا البئر، إنه يحتوي على فوتونات افتراضية. إنها توفر التجاذب الكهربي الذي يجعل طاقة الجهد للشحنة السالبة تهبط أكثر وأكثر تحت مستوى الفراغ المحيط مع تحركها نحو مصدر الجهد في مركز الذرة. يخلق مصدر الجهد البئر فعليًّا، كما ترين.»

كانت الحفرة الأولى ضحلة إلى حدٍّ ما، لكن أليس استطاعت أن ترى الحفر الأخرى تصبح على التوالي أكثر عمقًا كلما كان مكانها أبعد على طول الرصيف البحري. امتد الرصيف أمامها على مرمى البصر، وعليه ترسو ذرة من بعد ذرة راسية على طول جانبه. وبجوار كل واحدة منها كان ثمة مُلصَق صغير يشير إلى موضعها على المرسى. كُتب على أولها، $_1H$، وعلى الثانية $_2He$، والثالثة $_3Li$. لكل مَوضِع مُسمًّى مختلف. سألت أليس: «هل ستنطلق كل هذه الذرات من هنا كي تندمج في النهاية في مجموعات مثل تلك الموجودة بالفعل في الخارج على سطح الخواء؟»

«سوف تفعل أغلبها بكل تأكيد هذا، لكن ثمة قليلًا منها لن يفعل، مثل هذه الموجودة هنا بالضبط على سبيل المثال.»

توقفا بجوار ذرة تَحمِل ملصقًا كُتب عليه: $_{10}Ne$. «إنَّ هذه ذرة من عناصر الغازات النبيلة. إنها مجموعة أرستقراطية وهذا يعني أنها ترفض ممارسة التجارة من أي نوع؛ فهي مُنغلِقة على أنفسها. فهي راضية تمامًا عن شكلها الذي هي عليه ولا تختلط مع أي أحد آخر. إنها تَتنقِل طوال الوقت في عزلة تامة. ولهذا لن تَجِديها أبدًا تشارك في أي نوع من المركبات.»

مشيا أبعد قليلًا وبدأ الوكيل في شرح أنه حتى باستثناء الذرات النبيلة المتحفِّظة، ثمة تنوع كبير في مقدار الحماس الذي تنضمُّ به العناصر المختلفة في مركبات، فقال لها عندما وصَلا إلى ملصق كُتب عليه $_{17}Cl$: «على سبيل المثال، فإن هذا عنصر ناشط على وجه الخصوص.»

قرَّرت أليس أنه قد حان الوقت لفحص إحدى هذه الذرات عن قرب أكثر؛ لذلك مدت إحدى قدميها في تردُّد خارج حافة الرصيف. غمرتها الفرحة حين وجدت نفسها لم

تغرق. وقفت قدمها على منخفض صغير في السطح، إلى حدٍّ ما مثل الحشرات التي تطفو على برك الماء والتي سبق أن رأتها. إلا أنها عندما حاولت أن تمشي نحو الذرة، اكتشفت أنه لا يوجد أي احتكاك في الخواء. فكان السطح زلقًا للغاية، ولم تتمكن أبدًا من المحافظة على خطواتها. انزلقت وهي تصرخ صرخة صغيرة على المنحدر الحاد وهوَتْ في الحفرة العميقة.

بينما كانت تسقط، وجدت أليس أن لديها وقتًا وفيرًا كي تنظر فيما يحيط بها. أصبحت جوانب البئر أكثر انحدارًا وهي تضيق عليها، وسرعان ما لاحظت أنها كانت تسقط عبر هياكل شبحية لسلسلة من الغرف، لها أسقف منخفضة متقاربة المسافات. كانت الحجرات القليلة الأولى منخفضة للغاية بالفعل، ارتفاعها كافٍ بالكاد كي يناسب بيتًا لعروسٍ لعبة، لكن مع استمرار سقوطها أصبحت الحجرات أكثر ارتفاعًا بصورة ثابتة. في البداية، كانت جميعها فارغة ومهجورة تمامًا، لكنها فيما بعد بلغت حجرة تحتوي على منضدة مُستديرة ضخمة محاطة بالكراسي. استطاعت أن ترى في الطابق أسفل هذه الحجرة مقاعد وخزانات لحفظ الأوراق والملفات، كما لو كانت تمرُّ بنوع ما من المكاتب.

الحالات التي من الممكن أن تشغلها الإلكترونات داخل الذرة تميل إلى التجمع في مجموعة من المستويات، تفصلها فجوات كبيرة من الطاقة. إذا كان المستوى الخارجي المأهول من الذرة مُمتلئًا تمامًا بجميع الإلكترونات التي يُمكنه حملها، فإن أي إلكترون زائد يُضاف عليه لا بدَّ أن يَنتقِل إلى حالة ذات طاقة أعلى. وعادةً تصبح طاقته أقل من هذا إذا بقي في حالته الذرية الأصلية. والذرات من هذا النوع، التي تكون أغلفتها الخارجية مُمتلئة تمامًا بالإلكترونات، تُكوِّن الغازات النبيلة ولا تتفاعَل كيميائيًّا مع أي شيء بالأسلوب الطبيعي.

بمرور الوقت ازدادت دهشة أليس لرؤيتها بأنها ما زالت تسقط، دون أي علامة على وصولها للقاع. أسفل، فأسفل، فأسفل؛ ألن يَنتهي هذا السقوط أبدًا؟

تقع الذرة داخل نطاق المجال الكهربي، الذي تُولِّده الشحنة الموجبة في نواتها. تنتج هذه الشحنة بئر جهد حول النواة. وهذا يحدد بدوره الحالات المتاحة للإلكترونات كي تشغلها. إن انتخاب الحالات المتاحة هو نوع من تأثير التداخُل مُماثل لكم النغمات التي يمكنك الحصول عليها من أنبوب الأرغن أو وتر الكمان. فيمكن لأنبوب واحد أن يُصدر مجموعة صغيرة فقط من النغمات، تتلاءم أطوالها

الموجية مع هذا الأنبوب. بطريقة مُشابهة تتلاءم الحالات المتاحة للإلكترون مع بئر الجهد. تتجمَّع الحالات المتاحة معًا في مستويات طاقة محدَّدة. تُمحى أي دالة موجية أخرى لا تتوافَق مع واحدة من هذه الحالات بفِعل التداخُل الهدَّام.

بدأت أليس تدرك تدريجيًّا أن سقوطها لن ينتهي أبدًا. فهي لم تبلغ قاع الحفرة، ولكنها لم تكن تَنخفض أكثر. لقد كانت تطفو دون الاستناد على شيء على الإطلاق في منتصف القُمع، في مستوى واحدة من الغرف الضبابية. نظرت حولها ولاحظت أنها لم تكن بمفردها. فبالقرب منها وجدت إلكترونين كانا يشتركان في نشاط من هياج محموم. استطاعت أن ترى حولهما هيكلًا شاحبًا لغرفة مكتب ضئيلة للغاية وضيقة. نادت عليهما: «عذرًا، هل بإمكانكما التوقُّف للحظة وتخبراني أين أنا؟»

ردا عليها: «لا مساحة، لا مساحة.»

صاحت أليس في هذَين اللذين لم يبدُ لها ردهما هذا له الصلة بما تريده: «أستميحكما عذرًا، ماذا تعنيان؟»

أجاباها: «لا توجد مساحة كافية هنا لنا على الإطلاق كي نبطئ من سرعتنا، ناهيكِ عن التوقف. كما تعرفين، عندما يصبح موضع جسيم مقيدًا فإن علاقة هايزنبرج تجبر زخم حركته على أن تكون كبيرة، والمكان هنا ضيق جدًّا؛ لذلك لا نملك خيارًا سوى الاستمرار في التحرُّك. لو كانت لدينا مساحة أكبر كتلك التي لديهم في بعض المستويات الأعلى، لكنا قادرين على التحرك بطريقة أكثر تمهلًا ورويَّة، لكن هذا لا يحدث هنا. إن هذا هو أكثر المستويات انخفاضًا كما ترين؛ لذلك فمن المتوقع منا أن نبقى مشغولين طوال الوقت.»

تساءلت أليس: «حقًّا؟ ما الذي تفعلانه ويكون مهمًّا لهذه الدرجة؟»

«نحن لا نفعل أي شيء محدَّد. فلا يوجد أحد مهتم بما تقوم به الإلكترونات تحديدًا في الحالة الأرضية القاعدية، طالَما نواصل التحرُّك.»

سألت أليس: «في هذه الحالة، هل تعتقدان أن في مقدوركما أن تخبراني أين أنا دون أن تتوقَّفا؟ حيث إني لا أعرف إلى أين جئت. ما الذي يمنع أيًّا منا من الهبوط أكثر إلى أسفل البئر؟»

«إنك في أدنى مستوًى في ذرة الكلور، كما أخبرناك للتو. ونحن هنا على مقربة للغاية من مصدر الجهد؛ لذلك لا توجد إلا مساحة صغيرة جدًّا، ولذلك علينا أن نتحرك بسرعة

كبيرة؛ ذلك أن زخم حركتنا لا بد أن يكون مرتفعًا. هذا يعني أن طاقتنا الحركية مرتفعة أيضًا. لا أحد منا في حالة افتراضية على وجه الخصوص، كما ترين. فيوجد للإلكترونات مواضع آمنة داخل الذرة وتستحوذ عليها لفترة طويلة. أغلب الذرات كانت موجودة لفترات طويلة، والتذبذبات الكَميَّة في الطاقة صغيرة؛ لذلك بالنسبة إلينا نحن الإلكترونات تكون الطاقة وزخم الحركة مرتبطتين بعضهما ببعض على نحو ملائم.»

واصَلا الحديث: «ربما تعرفين أنه عندما يهبط إلكترون أو أي شيء آخر أكثر في الجهد، فإنه يفقد طاقة الجهد، وهذه الطاقة تتحول إلى طاقة حركية.»

وافقت أليس وقالت: «نعم، لقد شُرح ذلك لي عند زيارتي لبنك هايزنبرج.»

«مع ذلك، هنا في بئر الجهد هذا، عندما نَقترب أكثر من المركز، تُصبح المساحة أصغر فأصغر؛ لذلك نحن نحتاج إلى امتلاك المزيد من الطاقة الحركية. وإذا كنا نريد أن نهبط ونقترب أكثر فسيتوجب علينا أن نمتلك طاقة حركية أكبر من التي يُمكننا الحصول عليها من مجرد تحويل طاقة الجهد، ولذلك نحن غير قادرين على الهبوط لأبعد من ذلك. في الحقيقة، للمفارقة، نحن ببساطة لا نكاد نملك طاقة كافية تمكِّننا من الهبوط لأكثر من ذلك، ولا يمكننا اقتراض الطاقة كتذبذبات كَميَّة؛ لأننا سوف نحتاج إليها لفترة زمنية طويلة.»

«ثمة حالتان فقط في هذا المستوى؛ لذلك لا تُوجد مساحة إلا لإلكترونين فقط، أحدهما يكون لفُّه المغزلي إلى أعلى والآخَر يكون لفه المغزلي إلى أسفل. يَزداد عدد الحالات المتاحة عندما تتحرَّكين إلى الأعلى في مُستويات الطاقة، ولذلك فسوف تجدين إلكترونات أكثر في المستويات الأعلى. يُمكن للمستويين التاليين أن يشتملا على ما يصل إلى ثمانية إلكترونات في كل مستوى. في أي ذرة، تكون المستويات الأدنى، تلك التي لها أقل طاقة جهد، هي أول المستويات التي تَمتلئ. يسمح مبدأ باولي بإلكترون واحد فقط في كل حالة؛ لذلك عندما تحتوي كل الحالات في أحد المستويات بالفعل على إلكترون، فإن أي إلكترون إضافي لا يَملك خيارًا إلا أن يتحرَّك إلى مستويات طاقة أعلى. تُملأ المستويات جميعها بدءًا من القاع حتى يتم تسكين كل الإلكترونات. يدعى أعلى مستوًى يحتوي على إلكترونات بمستوى التكافؤ. إنه ذلك المكان الذي تعيش فيه إلكترونات التكافؤ، بالرغم من وجود وفرة من الحالات غير المأهولة بالأعلى في العِلية. تتَّخذ إلكترونات التكافؤ جميع القرارات وتتحكم في المركبات التي يمكن لذرتنا الانضمام إليها. إذا أردت أن تكتشفي كيف تعمل الذرة، فإن السبيل الأمثل لذلك هو أن تذهبي إلى الأعلى وتتحدثي إليها.»[٢]

سألت أليس: «كيف يُمكنني أن أصعد إلى هذا المستوى من هنا؟»

«حسنًا، لو كنتِ إلكترونًا لكان سيتوجب عليكِ أن تنتظري هنا حتى تتعرَّضي إلى الاستثارة إلى مستوًى أعلى بفِعل فوتون، يستطيع أن يزودك بالطاقة الإضافية التي تحتاجين لها. رغم ذلك، في حالتك أتوقع أنه من الممكن أن يرفعك إلى الأعلى عامل السُّلَّم.»

تساءلت أليس: «ألا تقصد عامل المصعد؟ لقد ركبتُ مصعدًا في متجر كبير وقد كان به عامل يأخذ الناس من طابق إلى طابق، لكني لم أسمع أبدًا عن سُلَّم يحتاج إلى عامل.»

مع ذلك عندما نظرت حولها، استطاعت أن ترى نوعًا من السلالم له درجات متباعدة بشكل كبير بعضها عن بعض، وقف إلى جواره كيان غير واضح المعالم. قالت أليس في فضول: «هل لي أن أسألك من تكون؟»

«أنا عامل السُّلَّم، أنا لست مخلوقًا فيزيائيًّا، لكنني مجرد كيان رياضي. إن عمَلي هو تحويل نظام من إحدى الحالات إلى حالة أخرى أعلى أو أسفل.» أجرى بعض العمليات المعقدة، فشلَتْ أليس في فهمها تمامًا، لكنها أدَّت إلى حملها على طول درجات السُّلَّم إلى المستوى الأعلى.

في الوقت المناسب وصلت أليس إلى المستوى الذي كانت قد رأت فيه المنضدة المستديرة الكبيرة. كان هذا المستوى يَحتوي على إلكترونات أكثر من المستوى الأول. نجحت في أن تعدَّها جميعًا ثمانية، بالرغم من صعوبة الأمر بعض الشيء. وكحال جميع الإلكترونات التي رأتها حتى الآن، كانت تتحرك في جميع الأنحاء بحيوية. كان العديد منها يدور حول المنضدة، بعضها في اتجاه واحد والبعض الآخر في الاتجاه المعاكس. لم تكن البقية تدور بشكل واضح لكنها كانت على الرغم من ذلك تتحرَّك. لم يكن أي منها يجلس في سكون على أي من الكراسي الموجودة حول المنضدة، لكنها كانت تقفز إلى الأعلى وإلى الأسفل، وبعضها كان يصعد فوق المنضدة وينزل من عليها. لم تسكن حركة الإلكترونات على الإطلاق، على الرغم من أنَّها في هذا المستوى لم تكن تتحرَّك بأسلوبٍ محموم للغاية كما كان الوضع في المستوى الأدنى.

صاحت الإلكترونات بمجرَّد أن ظهرَت أليس: «أهلًا أليس، تعالي ودَعينا نُرِك كيف تعمل ذرَّة فعالة متوسِّطة الحجم. إن الطريقة التي تُجري بها شركة الكلور عملها نحن مَن نُقرِّرُها، الإلكترونات السبعة في مستوى التكافؤ.»

احتجَّت أليس قائلة: «لكن يُوجد ثمانية منكم.»

«هذا لأنَّنا دخلنا في شراكة مع ذرَّة أخرى، وهي مؤسسة الصوديوم، حتى نُكوِّن جزئ كلوريد الصوديوم. حين نعمل معًا بهذه الطريقة يَرُوق لنا أن نتذكَّر أننا نُمثِّل

هنا ملح الأرض. إنَّ الذرة تعمل بتناغُم أكثر عندما تكون جميع مستوياتها التي تَحمل أي إلكترونات مُمتلئة بالكامل. نحن فقط لدينا سبعة إلكترونات في مستوى التكافؤ والصوديوم ليس لديه إلا إلكترون واحد، على الرغم من وجود مساحة تكفي ثمانية. ويكون في صالِحنا نحن الاثنين إن انتقل إلى هنا إلكترون تكافؤ الصوديوم كي يَجلس في مستوى التكافؤ عندنا ويكفل لنا مستوًى مُكتمِلًا. هذا يعني بالتأكيد أن لدينا الآن إلكترونًا إضافيًّا، ولذلك فإن لنا شحنة سالبة. أما ذرة الصوديوم فقد أصبحت تفتقر إلى إلكترون أقلَّ من المعتاد، وهو ما يمنحها شحنة موجَبة، والقوة الكهربية التي تنشأ بين هاتَين الشحنتَين المتضادتين تعمل على تماسك الذرتين معًا. يُعرف هذا باسم الرابطة الأيونية بين الذرات وهي أحد الأشكال المعتادة لبِنية الشراكة.»

وافقت أليس بلباقة على هذا الكلام: «يبدو هذا تعاونًا بالغًا من كلا الجانبين.» ثم سألت أليس: «أيٌّ منكم إذن هو الإلكترون الذي جاء من ذرة الصوديوم؟»

صاحوا جميعًا متحدِّثين في وقتٍ واحد: «أنا.» توقَّفُوا للحظة ونظروا إلى بعضهم، ثم قالوا جميعًا في وقت واحد وهم ما زالوا يتحدَّثون معًا في وحدة مثالية: «لا، إنه هو المقصود» ... أدركت أليس أنه لا مغزى مطلقًا من طرح أي أسئلة تُحاول أن تميز بين الإلكترونات المتماثِلة.

سألت أليس عوضًا عن سؤالها السابق: «هل يُمكنكم أن تُفسِّرُوا لي، من فضلكم، لماذا تقولون إن ذرة الصوديوم لديها شحنة كهربية موجبة عندما فقدت واحدًا من إلكتروناتها. بالتأكيد، ما زال لديها القليل من الإلكترونات المتبقية ومن المفترض أن تكون لديها شحنات سالبة أيضًا.»

«هذا صحيح تمامًا، فنحن جميعًا معشر الإلكترونات لدينا نفس كمية الشحنة السالبة، ذلك أننا جميعًا مُتماثِلون. وبطبيعة الحال تكون هذه الشحنة مُتوازِنة ومُتعادلة داخل الذرة بفعل وجود كمية متساوية من الشحنات الموجبة التي تحملُها النواة. الذرات عادةً تكون شحنتها محايدة، فلا تكون لديها أي شحنة كهربية سواء موجبة أو سالبة. ولذلك كما ترين عندما يكون لدى الذرة إلكترون واحد أكثر من المعتاد، تكون شحنتها سالبة. وعندها تُعرَف باسم أيون سالب. أما إذا كان لديها إلكترون واحد أقل من الطبيعي؛ فإن الشحنة الموجبة للنواة سوف تسود وتُصبحُ الذرة أيونًا موجبًا.»

قالت أليس بتأمل: «فهمت، لكن ما هذه النواة التي تتكلَّم عنها؟»

جاءت الإجابة المراوغة: «توجد هذه النواة في كل ذرة» ثم أضاف الصوت في عصبية: «لكنكِ لا تريدين أن تعرفي الكثير عنها، بالتأكيد لا تريدين!»

عند هذه اللحظة، قطعت المحادثة صرخة ضعيفة صدرت من مكانٍ ما أسفلهم، ومرت عبر مستوى التكافؤ قريبًا منهم، وتوقفت في مكان ما أعلى منهم. نظرت أليس إلى الأعلى ورأت أنها كانت بسبب إلكترون، من الواضح أنه تعرَّض للاستثارة من فوتون ليترك موضعه في مستوًى منخفض وكان يبدو الآن أنه غير مرتاح بعيدًا في أحد المستويات الأعلى الخالية. تجوَّل الإلكترون ببطء نوعًا ما في المستوى المرتفع الواسع حتى أصدر صرخةً مقتضبةً في النهاية وهوى إلى مستوًى أسفل منه. عندما فعل هذا اندفع فوتون خارج الذرة، وحمل مبتعدًا الطاقة التي انبعثت نتيجة لهذا السقوط. شاهدت أليس هذا في اهتمام في حين سقط الإلكترون في تتابع من مستوًى إلى التالي عليه، وفي كل مرة يتسبب في انبعاث فوتون. كان كل سقوط أبعد من السابق عليه؛ لأن مستويات الطاقة الأدنى كانت أكثر تباعدًا من الموجودة في الأعلى، ولذلك فالفوتونات المخلَّقة كانت لها طاقات أعلى تنشأ مع كل سقوط متتابع. ومع ازدياد طاقة الفوتونات، تحرَّك لون الضوء بعيدًا نحو النهاية الزرقاء للطيف.

بالنظر إلى الأسفل رأت أليس أن المكان الذي خلَّفه الإلكترون الذي تعرَّض للاستثارة من المستوى الأدنى قد تمَّ شغله وأن أحد مرافقيها في مستوى التكافؤ كان مفقودًا. لم يمضِ وقت طويل حتى سقط الإلكترون الذي كان يهوي من أعلى إلى مستوى التكافؤ وملأ المكان الفارغ. عادت الذرة الآن إلى حالتها الأصلية؛ فقد تبادل إلكترونان مستوياتهما، لكن بما أنهما كانا مُتماثلَين فلم يَحدُث أي فرق على الإطلاق.[٣]

قال أحد الإلكترونات في فخر: «لا بد أنك قد لاحظتِ جميع الألوان المختلفة للفوتونات التي أطلقتها.» دلَّ هذا التعليق على أن هذا الذي تكلَّم للتوِّ هو نفسه الإلكترون الذي سقط، لكن أليس أصبحت الآن خبيرةً بحقيقة هوية الإلكترونات مما منعها من الوقوع في هذا الفخ. «أترين، هذه هي الطريقة التي تُشعُّ بها الذرات الضوء؛ عندما يتغير موضع إلكترون من مستوًى إلى الآخر. إن لكل الفوتونات طاقات مختلفة، ومن ثمَّ ألوان مختلفة، وهذا لأنَّ المستويات تقع على مسافاتٍ مختلفة في تباعدها. فتكون المسافات مُتقاربة جدًّا في قمة البئر، لكنها تُصبح متباعدةً أكثر وأكثر كلما نزلتِ إلى الأسفل. وهذا التباعد بين المستويات يختلف بين الذرات المختلفة الأنواع، ولذلك تكون طاقات مجموعة الفوتونات مميزة تمامًا في كل نوع من الذرات، تمامًا مثل تميُّز بصمات الأصابع عند البشر.»

ما كادت الإلكترونات الثمانية تَستقر، أو تحصل على أقصى قدر مُمكِن من الاستقرار بينما هي جميعها لا تزال في حركتها المحمومة المستمرَّة، عندما حدثت رجفة بدَت وكأنها تَسري عبر الذرة كلِّها. صاحت أليس في شيء من الذعر: «ماذا كان هذا!»

«كان هذا نوعًا من التفاعُل. لقد انفصَلْنا عن شريكنا الصوديوم ونحن الآن نَنجرِف عبر الخواء كأيون سالب حر. لكن لا تقلقي، فأنا لا أتوقع أننا سوف نَنجرِف بلا هدف لفترة طويلة. فسوف نعود قريبًا جدًّا إلى الأعمال في حين قُبل التبادُل.»

سألت أليس: «أيُّ تبادل هذا؟ هل تقصد تبادل الأوراق المالية؟ أفهم أن هذا يتحكَّم في الأعمال التجارية في عالَمي.»

«في حالتنا نحن نَعني تبادل الإلكترونات. فجميع أنشطتنا يتحكَّم فيها نوعٌ من تفاعلات الإلكترونات، ولذلك يكون تبادُل الإلكترونات مهمًّا لنا، ربما تَودِّين زيارة موقع التبادُل، أليس كذلك؟»

ردت أليس: «نعم، أعتقد هذا. كيف يُمكنُني أن أذهب إلى هناك من هنا؟ هل هي رحلة طويلة؟»

«لا، على الإطلاق. في الواقع هي ليست فعليًّا رحلة على الإطلاق. فبما أنكِ في غرفة تفاعل، فأنت بالفعل هناك بشكلٍ ما؛ إنكِ في حاجة فقط لتمثيل مختلف. إن الأمر كله يكمن في طريقة نظرك إلى الأشياء. فقط اتبعيني.»

مثلما أخبرها الإلكترون تمامًا، لم يبدُ لأليس أنهما يذهبان فعليًّا إلى أي مكان آخر، لكن مع ذلك وجدت أليس نفسها في صحبة إلكترون على حافة غرفة واسعة. كانت أرضية هذه الغرفة مزدحِمة بإلكترونات تجمَّعت حول منضدة كبيرة في منتصَف الغرفة. بدت لأليس نوعًا ما كواحدة من الطاولات التي رأتها في أفلام الحروب القديمة، حيث يتحرك القادة حول نماذج متنوعة، تمثِّل طائراتٍ أو سفنًا أو جيوشًا. على هذه المنضدة أيضًا رأت مجموعة كبيرة من النماذج كانت تتحرَّك في مجموعات مختلفة.

نظرت عن كثب أكثر إلى بعض هذه النماذج ورأت أنها تحمل الملصقات نفسها مثل الذرات الراسية على الرصيف البحري الدوري. في الحقيقة، عندما أمعنت النظر بحقٍّ لم تعد متأكِّدة من أنها مجرَّد نماذج. بدت كأنها نسخٌ مصغَّرة من الذرات التي رأتها على طول جانب هذا المرسى. فكَّرت أليس: «ربما تكون هي نفسها. ربما هذه هي نفس الذرات لكنِّي أراها على نحو مُختلِف. أفترض أنه بدلًا من الرصيف البحري الدوري، فإن هذا هو الجدول الدوري.»

امتلأت الجدران حول الغرفة بصفوف من شاشات العرض، استطاعَت أليس أن ترى عليها أعمدةً من أرقام تتغيَّر مع تحرُّك الذرات من مجموعة لأُخرى.

سألت أليس: «هل هذه هي أسعار الذرات المُختلِفة؟»

«نعم، إلى حدٍّ ما. فهذه الأرقام تُخبرنا بطاقات الإلكترونات المختلفة التي تُشارك في التفاعُلات الكيميائية. إنها تعرض طاقات الارتباط للإلكترونات؛ وهي القدر الذي تَنخفِض به طاقة الإلكترون تحت القيمة التي كان من المفترض أن يتمتَّع بها لو كان حرًّا. كلما زادت القيمة المعروضة، انخفضَت طاقة الوضع الموجودة لدى الإلكترون، وعليه يَزيد استقرار المركب الذي اندمج فيه ونجاحه. إنَّ وظيفة عملية التبادُل أن تجعل طاقات الارتباط هذه كبيرة قدرَ المُستطاع.»

تساءلت أليس التي تذكَّرت الشرح الذي تلقَّته عن الرابطة الأيونية في كلوريد الصوديوم: «وهل يحدث كل هذا عن طريق تحرك الإلكترونات من ذرةٍ إلى أخرى؟»

«لا، ليس دائمًا. أحيانًا تكون هذه هي الطريقة الأكثر فعالية، وعلى ذلك يَحدُث الارتباط بهذه الطريقة. يُمكن لتبادُل الإلكترونات أن يحصل على ميزة عن طريق تحريك الإلكترونات في كل مكان، وهذا لأن حالات الإلكترون المتاحة داخل الذرة تكون مُرتَّبة في مستويات أو أغلفة، بينها فجوات كبيرة جدًّا. إن طاقة ارتباط آخر إلكترون في مستوى طاقة منخفِض من الذرة تكون أكبر بكثير من طاقة ارتباط أول إلكترون في هذا المستوى، الذي يتحتَّم عليه الانتقال إلى غلاف أعلى. وهذا يعني أن ثمَّة وسيلة سهلة لتحسين الحصيلة الإجمالية للطاقة في الذرة لديها إلكترون واحد فقط في الغلاف الأعلى. إذا استطاع هذا الإلكترون أن يتحرَّك من مكانه الرائع — ولكن المعزول فيه تمامًا — إلى غلاف أدنى شبه مُمتلئ في ذرة أخرى، فسيكون ثمة كسبٌ كلي في طاقة الارتباط على نحو شبه مؤكَّد.»

«صحيح أيضًا أنه عندما لا يكون لدى ذرة سوى مكان واحد مُتبقٍّ في أعلى غلافٍ مشغولٍ فيها، فإنها في هذه الحالة ستكون لها طاقة منخفِضة على غير المعتاد، وأيُّ إلكترون يَنتقِل إليه سوف يُحسِّن على الأغلب من توازن الطاقة الكلي بها. ومن المتعارَف عليه بوجه عام أن الذرات التي لديها إلكترون واحد فقط سواء كانت كثيرة للغاية أو قليلة للغاية هي الأكثر نشاطًا — وهي الأكثر احتمالًا أن تُشارك في عمليات التبادُل وتكوين المركبات. والذرات التي لديها إلكترونان بمفردهما في حالةٍ عليا، وتلك التي لديها مكانان خاليان فقط في حالةٍ أدنى من المُمكن أن يُشاركا في انتقالات مشابِهة للإلكترونات، لكن الزيادة في طاقة الارتباط للإلكترون الثاني عادةً ما تكون أقلَّ كثيرًا من التي يَحصُل عليها الأول، وتكون أقل فعاليةً إلى حدٍّ كبير.»

تساءلت أليس كما بدا هذا متوقعًا منها: «إذن ماذا يُمكِن للذرة أن تفعل إذا كان لديها العديد من الإلكترونات في غلافها الخارجي؟»

إذا كانت الذرة تَمتلك إلكترونًا واحدًا فقط في مُستواها الخارجي، بينما تفتقر ذرة أخرى إلى إلكترون واحد ليكتمل مُستواها، يُمكن للاثنتَين أن يبلغا طاقةً أدنى بشكل عام عن طريق نقل الإلكترون المعزول من إحدى الذرتَين إلى مستوى التكافؤ الشبه المُمتلئ في الذرة الأخرى. هذه هي الكيمياء؛ فالإلكترونات في مُستويات الطاقة المختلفة تربط الذرات معًا. ويمكن لتفاصيل الكيمياء أن تصبح معقدةً إلى حد ما عند الممارسة، لكن هذا هو المبدأ.

تحتوي الذرة على العدد اللازم من الإلكترونات لمعادلة الشحنة الموجبة في النواة. تملأ هذه الإلكترونات الحالات ذات الطاقة الأدنى، بحيث يوجد إلكترون واحد في كل حالة. لو أنَّ ثمة ذرَّة لديها مكان واحد فارغ مُتبقٍّ في أعلى مستوًى مُمتلئ بها، وثمة ذرة أخرى لديها إلكترون واحد عليه أن يَنتقل إلى مستوى أعلى، إذن يُمكن تخفيض الطاقة الكلية عن طريق نقل هذا الإلكترون إلى المكان المتبقِّي في الذرة الأخرى. وهكذا تُصبح لدى كلتا الذرتَين الآن شحنة متعادِلة، ويربطهما التجاذب الكهربي الناتج معًا ليكوِّنا مركبًا كيميائيًّا.

«إن مثل هذه الذرة لا بد أن تتغيَّر إلى نوع آخر من الروابط؛ رابطة تُعرف باسم الرابطة التساهُمية. إنَّ ذرة مثل الكربون، على سبيل المثال، بها أربعة إلكترونات في غلافها الخارجي. هذا يعني أن بها أربعة إلكترونات، وهو عدد كبير للغاية على أن يُصبح غلافها خاليًا وكذلك قليل جدًّا على أن يصبح غلافها ممتلئًا. إنه متوازن على نحو جيد لكي يحصل على أي شيء عن طريق نقل الإلكترونات من وإلى ذرة أخرى؛ لذلك بدلًا من هذا فإنها تعمل على مشاركتها. لقد تبيَّن أنه لو كانت الإلكترونات من ذرتَين في وضع تراكب كَمِّي للحالات بحيث يُمكن لأيٍّ منها أن يوجد في أيٍّ من الذرَّتين، فإن طاقة كلتا الذرتَين قد تَنخفِض وهذا يعمل على ربطهما معًا.»

«إن الرابطة الأيونية، التي ينتقل فيها الإلكترون بالكامل من ذرةٍ إلى أخرى، لا يُمكن أن تُطبق إلا بين ذرات مختلفة تمامًا، لدى واحدة منها إلكترونات كثيرة للغاية، والأخرى لديها إلكترونات قليلة للغاية. الرابطة التساهمية، على الجانب الآخر، يُمكن تطبيقها عندما تكون الذرتان من النوع نفسه. وأبرز مثال على ذلك الترابط التساهمي الموجود بين ذرات الكربون، أساس التكتلات العضوية الضخمة.» استطاعت أليس أن تَستشعِر جوًّا عامًّا من الاحترام المهيب صادرًا من الإلكترونات المناورة حول المنضدة عند ذكر المواد العضوية.

«إن ذرة الكربون لديها أربعة إلكترونات في مستواها الخارجي أو مستوى التكافؤ. لو أن كلَّ إلكترون من هذه الإلكترونات ارتبط بإلكترونات من ذرات أخرى، فسوف تُسهمُ كلٌّ من حالات الإلكترونات الثمانية في التراكب الكَمِّي ويُصبح الغلاف ممتلئًا بفعالية.

بهذه الطريقة، يمكن لذرة الكربون أن تربط نفسها بعدد كبير من الذرات يصل إلى أربع ذرات أخرى، والتي من الممكن أن تكون كذلك ذرات كربون. من الممكن أيضًا لذرة الكربون أن تُبادل اثنين من إلكتروناتها مع ذرة كربون أخرى كي تكوِّن رابطة مزدوجة، في مثل هذه الحالة فإنها لن تتَّصل بكثير من الذرات الأخرى، ولكن الرابطة ستكون أقوى.»

«إن الرابطة الأيونية في أقوى حالاتها لا تَربط أكثر من ذرة بذرَّة أخرى، ولهذا فهي لا تنتج جزيئاتٍ كبيرة. وحين يُوجَد إلكترونان يتحتَّم نقلهما، قد تُصبح الأمور أكثر تعقيدًا. وحتى حينها لا يمكن مقارنة الوضع بوضع الكربون، حيث يُمكن أن ترتبط ذرة واحدة بأربع ذراتٍ أخرى، وكل واحدة من هذه من الممكن أن ترتبط بذرات عديدة أخرى. ويُمكن للمركبات القائمة على الكربون أن تُكوِّن جزيئات عضوية على درجة هائلة من التعقيد، من الممكن أن تحتوي إجمالًا على مئات من الذرات.»

سألت أليس: «هل يُمكن لجميع أنواع الذرات المختلفة التي أراها هناك أن تكوِّن مركبات بالطريقة التي وصفتها؟»

«نعم باستثناء الغازات النبيلة؛ ففي حالة الغازات النبيلة، تملأ الذرات بالفعل أغلفة التكافؤ؛ لذلك لا تقف في انتظار الاستفادة من أي انتقال للإلكترونات. إن جميع الذرات الأخرى تُكوِّن مركبات بدرجةٍ ما، إلا أن البعض منها يكون أكثر نشاطًا من البعض الآخر، وبعضها نصادفه أكثر. على سبيل المثال، ذرة الكُلور التي زرتها هي نشيطة جدًّا. فهي تكوِّن مركبات مع أبسط الذرات، وهي ذرة الهيدروجين، التي تخصص إجمالًا إلكترونًا واحدًا فقط، وكذلك أيضًا مع أكبر العناصر في الطبيعة، اليورانيوم. إن هذا اليورانيوم مؤسسة كبيرة بالفعل؛ فهو يوظف نحو مائة إلكترون تقريبًا، لكن وحدها الإلكترونات الموجودة في مستوى التكافؤ الخارجي لديه هي التي تؤثر فعليًّا في سلوكه الكيميائي.» ثم أضاف هامسًا إليها: «إنها ذرة كبيرة جدًّا لدرجة أن ثمة شائعات تقول إن نواتها غير مستقرة.»

قالت أليس في حزم: «أردت أن أسأل عن هذا. فلقد ذكرت النواة مجددًا. من فضلك، هلا أخبرتني: ما هي النواة؟»

بدَت جميع الإلكترونات غير مرتاحة إلى حدٍّ ما، لكنها ردت على مضض: «إن النواة هي السيد الخفي للذرة. فنحن معشر الإلكترونات نُنجز جميع أعمال تكوين المركبات الكيميائية وإشعاع الضوء من الذرة وما إلى ذلك، لكن النواة فعليًّا هي التي تتحكَّم في نوع

الذرة الذي نكون فيها. إنها تتخذ القرارات السياسية النهائية، وتحدد عدد الإلكترونات التي يمكننا الحصول عليها، والمستويات المتاحة لنضعها فيها. تحتوي النواة على العائلة النووية، وهي المنظمة السرية للشحنة المنتظمة.»

وخوفًا من هذه المصارحة الجارفة، حاولت الإلكترونات جميعها في جميع أنحاء الغرفة أن تَنكمِش دون لفتِ الأنظار في أحد الأركان، أو على الأقل بقدر ما تستطيع دون أن تُصبح مُنحصرةً للغاية في مكان محدَّد. ولكن فات الأوان؛ فقد وقَع الضرر! انتبهت أليس إلى وجودٍ جديدٍ بالقرب يحمل تهديدًا.

من بين الإلكترونات المهرولة كان ثمة شكل ضخم يَلُوح في الأفق فوق أليس ورفاقها. أدركت أنه كان فوتونًا، لكنه كان أكثر ضخامةً بشكلٍ واضحٍ ومميَّز من أي شيء رأته من قبل. لقد كان يتوهَّج مثل جميع الفوتونات التي رأتها لكن بطريقة خافتة ماكرة على نحوٍ غريب. لاحظَت أليس أيضًا، على نحوٍ غير متوقَّع من شيء هو نفسه أصل الضوء، أن هذا الفوتون كان يَرتدي نظارة داكنة للغاية.

قالت الإلكترونات وهي تلهَث: «إنه فوتون افتراضي ثقيل، ثقيل للغاية، لا تنطبق عليه إطلاقًا العلاقة بين الطاقة وزخَمِ الحركة. إنه واحد من المنفِّذين لصالح النواة. فالفوتونات مثله تَنقُل التحكم الكهربي للنواة إلى إلكتروناتها التابعة.»

قال الفوتون بلهجة وعيد: «أسمع أن أحدًا ما يَطرح سؤالًا؟ إن النيوترونات والبروتونات داخل النواة هي من نوع الجُسَيمات التي لا تحب أن تسمع الأسئلة تُطرح من أيِّ شخص مهما كان. سوف أصطحِب هذا الشخص نفسه في جولة صغيرة كي يُقابل مجموعاتٍ معينة أو بالأحرى جسيمات معينة. إنها ترغب في مقابلتها بإلحاح في الحقيقة.»

لم يبدُ هذا كبداية مبشِّرة للقاءٍ جديد، وكانت أليس تُفكِّر إن كان من الممكن لها أن ترفض في سلام. لم تستطع أبدًا أن تدرك، حين فكرت في الأمر مرارًا فيما بعد، كيف بدآ في التحرُّك؛ كل ما استطاعت تذكُّره أنهما كانا يَجريان جنبًا إلى جنب، وكان الفوتون يَصرُخ باستمرار: «أسرَع.» وشعرت أليس بأنها لن تستطيع أن تُسرع أكثر، مع أنها لم يكن لديها أيُّ نفس متبقٍّ كي تقول هذا. اندفعا عبر سطح المنضدة وغاصا في واحدة من الذرات الممثَّلة على سطحها. لقد كانت واحدة من ذرات اليورانيوم، تضخَّمت بشكلٍ مهول حين اندفعت كي تلقاهما.

كان أعجب جزء في هذه التجربة أنهما حالَما كانا داخل الذرَّة لم تتبدَّل مواضع الأشياء من حولهما على الإطلاق؛ فبصرف النظر عن السرعة التي كانا يتحرَّكان بها، لم يبدُ

أنهما قد مرَّا بأي شيء. ما لم تُلاحِظه أليس أن ما يُحيط بهما — من إلكترونات مشغولة وحدود المستويات التي تحتوي عليها بدت وكأنها تزداد حجمًا بثبات كلما ركضت.

فكرت أليس المسكينة المتحيِّرة: «هل كل شيء يزداد حجمًا بالفعل أم أنني أنا من أتقلص؟»

صاح الفوتون: «أسرَع، أسرَع! لا تُحاولي أن تتكلَّمي.»

شعرت أليس أنها لن تكون أبدًا قادرة على الكلام مجدَّدًا؛ فقد كانت أنفاسها على وشك أن تنقطع؛ وما زال الفوتون يصيح: «أسرَع! أسرَع!» ويجرُّها على طول الطريق.

نجحت أليس في أن تُخرج كلماتٍ لاهثة في النهاية: «هل أوشكنا أن نصل؟»

كرَّر الفوتون: «أوشكنا!» ثم أضاف قائلًا: «بالتأكيد نحن في وجهتنا طوال الوقت ولا مكان آخر لكنَّنا لسنا مُنحصِرين كفاية، لسنا بالكاد. أسرَع!» واصلا الجري في صمت لفترة، مُسرعين أكثر فأكثر بينما تزايد حجم المشهد المحيط بهما، وامتدَّ إلى الأعلى وإلى الخارج حتى أصبح كل شيء رأته من قبل ضخمًا للغاية كي يُصبحَ مدركًا بالكامل بسهولة.

صاح الفوتون: «الآن! الآن! أسرَع! أسرَع! إن زخم حركتِك الآن كبيرٌ تقريبًا بما يَكفي لحصرك داخل النواة.» تحركا بسرعة كبيرة جدًّا حتى بدوَا وكأنهما يندفعان منزلقين عبر الهواء، حتى وجدت أليس نفسها فجأة، عندما أصبحت مرهقة تمامًا، تقف أمام برج طويل مُعتم، مرتفع في سلاسة أمامها، يتقوَّس وهو يرتفع عن الأرض ويضيق باستمرار كلما ارتفع. كان معتمًا وبلا معالم في المستويات السُّفلية، ومع ذلك، ففي مكان ما في قمته استطاعت أليس أن ترى أنه كان ينتهي بتداخل بين أبراج وأسوار زخرفية ذات فتحات. كان التأثير العام الذي وقعَ على أليس هو كونه منفرًّا.

قال الفوتون الافتراضي الثقيل: «ها أنتِ ذي تَنظُرين إلى قلعة رذرفورد، منزل العائلة النووية.»

هوامش

(١) اتَّضح أن الذرات تحتوي على إلكترونات سالبة خفيفة، وفيما بعدُ اتضح أنها تحتوي على نواة موجبة الشحنة. رجَّح هذا أنها من المحتمل أن تكون نسخًا متناهية الصغر من النظام الشمسي، حيث تدور إلكترونات كوكبية حول شمس نووية. أدَّى هذا المفهوم إلى بزوغ تصوراتٍ خيالية، كانت فيها الإلكترونات كواكب مصغَّرة، يعيش عليها

أناس أصغر منها، وهكذا إلى ما لا نهاية. مع الأسف وفقًا لهذه المخططات فإن صورة النظام الشمسي خاطئة بكل وضوح.

- السبب الوحيد لعدم سقوط الكواكب مباشرةً داخل الشمس يرجع إلى أنها تدور حولها. وثمة أدلة مؤكَّدة على أن الكثير من الإلكترونات لا تدور إطلاقًا حول النواة.
- وفقًا للفيزياء الكلاسيكية، فإن الإلكترونات التي تدور داخل الذرة يجب أن تشع طاقة ويجب أن تضعف حركتها بالتدريج. ويُمكن لشيء صغير في حجم الذرة أن يفعل هذا بسرعة إلى حدٍّ ما، في أقل من واحد على مليون من الثانية، وبهذه الطريقة لا تنهار الذرات. (في الواقع، إنَّ حركة النظام الشمسي تقلُّ بالتدريج، لكن ببطء إلى حدٍّ ما، على مدًى زمني يصل إلى ملايين السنين.)

(٢) بسبب مبدأ باولي لا يُمكن أن يوجد إلا إلكترون واحد فقط في كل حالة. ولأن الإلكترونات توجد منها نسخ ذات لف مغزلي علوي ولف مغزلي سفلي، فإن هذا يضاعف عدد الحالات على نحو فعال. تهبط الإلكترونات إلى الحالات الذرية لأن لها طاقات أقل هناك، وهذا قانون عام بأن الأشياء تميل إلى أن تهبط إلى مستويات طاقة أدنى (تمامًا كما يُمكنك أن تكتشف إن أمسكت بكأس على أرضية مكسوة بالبلاط وأفلته). لدى كل ذرة عدد هائل من المستويات التي يُمكنها الاحتفاظ بإلكترونات، في الواقع إن عدد الحالات لا نهائي، غير أن الحالات الموجودة في الأعلى تكون متقاربة جدًّا من حيث الطاقة. تستمر الذرة في جذب الإلكترونات إلى مستوياتها حتى تحتوي فقط على العدد الصحيح اللازم لمعادلة الشحنة الموجبة لنواتها، وبعد ذلك لن تعود لدى الذرة أي شحنات موجبة فائضة لتجذب بها إلكترونات أكثر. عندما تصل الذرة إلى تمام كفايتها من الإلكترونات فإنها تحتوي في الأغلب الأعم على إلكترونات أكثر من المساحة المتوفِّرة لها في الحالة ذات الطاقة الأدنى. يجب إذن استيعاب بعض الإلكترونات في حالات الطاقة الأعلى.

(٣) عندما فحصَ الناسُ الضوء المنبعث من ذرات نوعٍ واحد، وجدوا أن الطيف لم يكن عبارة عن توزيع منتظِم للألوان مثل قوس قزح، لكنه كان مجموعة من الخطوط الحادة كلٌّ منها للونٍ مُستقِل. يظهر لكل نوع من الذرَّات خطوط الطيف هذه، والتي كانت لغزًا مُطْبقًا على الفيزياء الكلاسيكية.

لأيٍّ نوعٍ محدَّد من الذرات مجموعةٌ متفرِّدة من مستويات الطاقة للإلكترونات. عندما تنتقل الإلكترونات من أحد المستويات إلى آخر، فإنها تشعُّ فوتونات تُساوي طاقتها الفارق في الطاقة بين المستويين. وبما أن طاقة الفوتونات تتناسَب مع تردُّد الضوء ولونه، فإن هذا يُعطي خط طيف بصري للذرات مميَّز مثل بصمة الإصبع.

كان تفسير وجود خطِّ الطيف النجاح الأول الكبير لنظرية الكَم الناشئة. اتَّفقَت النظرية مع تردُّدات الخط المرصود وتنبأت بخطوط طيف أخرى، لم تكن قد شُوهِدت من قبل. جرى اكتشاف كل هذا في الوقت المناسب وأوضح ذلك أن نظرية الكَم لا يُمكِن طرحها جانبًا بسهولة.

الفصل الثامن

قلعة رذرفورد

وقفت أليس تُحدِّق في الارتفاعات المُعتِمة لقلعة رذرفورد كما تلُوح فوقها. سألت مرافقَها: «مِن أين جاءت هذه؟ وكيف وصلنا إلى هنا من بئر جهد في الذرَّة؟»

«عليَّ أن أخبرك أنه في لمح البصر يُمكننا أن نذهب إلى أيِّ مكان. نحن نبقى بثبات بجوار الذرة، لكنَّنا الآن مُنحصِرون بعض الشيء في مركزها أو بالأحرى أكثر من بعض الشيء. ما ترينه أمامك هو قاع بئر الجهد نفسه. ألا تعرفين أنه الشيء نفسه؟»

ردَّت أليس على نحو قاطع: «لا، بالتأكيد لا أعرف! فقد كان بئر الجهد بئرًا؛ لقد كان حفرة تنزل إلى الأسفل. أما هذا فبرج يَرتفِع إلى الأعلى. فهما شيئان مختلفان تمامًا.»

ردَّ الفوتون: «إنه غير مختلف على الإطلاق عندما تفكرين في الأمر. فالنواة تُنتج مجالًا كهربيًّا، ونفس هذه النواة تطلق طاقة جهد سالبة إلى أي إلكترونات سالبة على مَقرُبة منها. عندما تمتزجين بمثل هذه الرفقة، مثل حال الإلكترونات وغيرها، فمِن الطبيعي أن ترَي الجهد كحُفرة تتَّجه إلى أسفل. أما الجُسَيمات النووية، مثل البروتونات، فهي جسيمات تَحمل شحنة موجَبة في كل الأوقات؛ لذلك إذا جاء رفاق مثل هؤلاء في زيارة غير متوقَّعة، فإنهم معرَّضون لأن يجدوا طاقة الجهد لديهم ترتفع أكثر بعض الشيء مع اقترابهم من النواة. ومن المعتاد أن يجعل هذا مثل هذه الشخصيات تحافظ في كياسةٍ على مسافتها، ويعمل الحقل كحاجز. وفي الحقيقة، فإنه لهذا السبب يُدعى حاجز كولوم. وتميل البروتونات والنيوترونات (النيوكليونات) إلى كراهية وجود ضيوف غير مَدعوِّين. وفي حال ما إذا كنتِ تختلطين بشخصيات من هذا النوع، فإنك سوف ترين ما يرون؛ وهو حائط جهد عالٍ حول النواة.»

سألت أليس: «كيف يُمكنني أن أدخل إذن. أنا لا أعتقد أن بإمكاني الصعود فوق هذا الحائط.» ثم قالت في أمل: «أنا متأكِّدة من أنه سوف يكون من الفعال جدًّا أن أحافظ

في كياسةٍ على مسافتي.». كانت ما زالت غير متأكِّدة على الإطلاق من أنها تريد أن تقابل العائلة النووية.

في مركز كل ذرة ثمة نواة ذرية متناهية الصغر. تَحتوي هذه النواة على معظم الكتلة الكلية للذرة، بالرغم من أنها تُمثِّل واحدًا على مائة ألف فقط من قطرها. تحمل النواة شحنة كهربية موجبة تجذب الإلكترونات السالبة الشحنة وتُحافظ على تماسك الذرة بعضها ببعض. من ناحية أخرى، تطرد هذه الشحنة الموجبة الجسيمات الموجبة الشحنة الأخرى وتضع حاجزًا حول النواة، يُعرف باسم حاجز كولوم، الذي يبقي البروتونات والأنوية الأخرى في الخارج.

«يعمل حاجز كولوم على إبقاء الجُسَيمات من نفس النوع فقط في الخارج، تلك التي تحمل شحنة كهربية موجبة. ثمة جسيمات أخرى لا تَمتلِك أي شحنة كهربية على الإطلاق، ويُمكن لهذه الجسيمات المرور عبره بسهولة. أنتِ لا تحملين أي شحنة في الوقت الحالي؛ لذلك يُمكنكِ الدخول عبر مدخل الجسيمات المحايدة.» أشار نحو مدخل مُرتفِع في أسفل حائط القلعة، لم تكن أليس قد لاحظته من قبل، كان مكتوبًا عليه على نحو استرشادي عنوان: «الجسيمات المحايدة فقط».

مشَت أليس ومرافقُها إلى الباب وطرَقا طرقاتٍ مُدوِّية. سألت أليس في تحفُّظ: «ما شكل الجسيمات النووية؟ هل تشبه كثيرًا الإلكترونات التي قابلتها منذ قليل؟»

«من الشائع أن الجميع وبشكلٍ عام يَعتبرونها أكبر كثيرًا من أي إلكترونات ومن المعروف أنها أكثر ضخامة منها بنحوِ ألفَي مرة.» لم تعمل هذه الإجابة مطلقًا على تخفيف حدَّة التوتُّر لدى أليس، وهي تسمع خطوات أقدامٍ بطيئة وثقيلة تقترب من وراء الباب. هذه الخطوات أصبحت أعلى حتى تصوَّرت أليس أنها تستطيع أن تشعر بالأرض تهتزُّ قليلًا مع وقع كل خطوة على الأرض. أخيرًا توقَّفَت الخطوات، وبدأ الباب المرتفع يُفتَح ببطء إلى الداخل. نظرت أليس في توتُّر إلى الأعلى كي تَحظى بأول نظرة على هذا الوحش الذي أرسل في طلبها. أخيرًا أصبح الباب مفتوحًا على مصراعَيه، لكنها ما زالت لا ترى شيئًا. هل النيوكليونات غير مرئية؟

سمعَت أليس فجأة صوتًا يبدو منزعجًا من مكانٍ ما أسفل مستوى ركبتيها يقول: «ها أنا ذا.» جفلَت ونظرَت إلى الأسفل ووجدت أمامها كيانًا صغيرًا واقفًا. لم يكن يبدو مختلفًا في شكله عن الإلكترونات التي رأتْها من قبل، باستثناء وجود هالة من الطاقة

تُحيط به بطريقةٍ ما، ومثل مرافقها حاليًّا كان يَرتدي نظاراتٍ داكنة. إلا أن أليس عندما تذكَّرت إلى أي مدًى تقلَّصَت وهي في طريقها إلى قلعة رذرفورد، أدركَت أن هذا الكيان لا بد أن يكون أصغر بكثير جدًّا من الإلكترونات التي ظهرت لها من قبل.

صاحت وهي تَلتفِت في سخط إلى الفوتون، وقد شعرت بالغضب لأنها تعرَّضت للخداع على هذا النحو: «أعتقد أنكِ أخبرتني بأن النيوكليونات أكبر من الإلكترونات!»

«بالتأكيد، فأغلب المواطنين المُستنيرين يوافقون على أنها في الحقيقة أكبر، وأنا متأكد من أنك لا ترغَبين في التشكيك في كلمتي حول أمر صغير جدًّا مثل هذا. بالتأكيد النيوكليونات أثقل وزنًا بكثير من الإلكترونات، ولذلك فهي تَميل إلى أن تكون أكثر تمركزًا. ولأنها أثقل بألفي مرة فمن الطبيعي أن تكون طاقة كتلة السكون لديها أكبر بألفَي مرة. وأيضًا من المتعارف عليه على نطاق واسع أنها تكون في أكثر تمركزًا نحو ألفَي مرة، حتى عندما يكون لها نفس طاقة فرد من نوع الإلكترون. وهذا يعني أنها تميل لأن تَشغَل مساحة أقل وبذلك من المُمكن أن تبدو أصغر من الإلكترونات، لكن الرأي المُستنير يقول إنها في الحقيقة الفعلية أكبر منها.»

«مقارنةً بمُواطني النواة فإن إلكترونات الذرة هي مجموعات لها طاقة أو زخم حركة قليل جدًّا على أيِّ حال، ولا تتمركز على نحوٍ جيد على الإطلاق. إنها تُكوِّن سحاباتٍ إلكترونية كبيرة تطفو في المنطقة المجاوِرة للنواة وهي كبيرة جدًّا بالفعل. إنها تَنتشِر على مساحة تزيد بمئات الآلاف من المرات عن نفس النواة.» حين نظرت أليس حولها استطاعت أن ترى سُحبًا رمادية كبيرة تحيط بهم، سحبٌ تمتد إلى ما هو أبعد من مرمى البصر. كان من الغريب التفكير في أن هذه هي الإلكترونات التي رأتها كثيرًا في السابق، لكنها الآن تراها من منظور أصغر بكثير.

النيوترون الذي كان في استقبالهما (هكذا كان) بدأ يَضيق ذرعًا بهذا الحوار المتبادَل. فقال فجأة متبرِّمًا: «لا تَقِفي هناك فقط هكذا، أيًّا من تكونين. اقتربي كي أستطيع التعرُّف عليكِ.»

قالت أليس وقد أدركت الموقف: «إنه لا يستطيع رؤيتنا. أعتقد أنه أعمى!»

ردَّ مرافقها: «كل النيوترونات على هذا الحال، كما يقرُّ معظم الناس. هذه المجموعات ليسَت من هذا النوع الذي له أي تفاعُلات مع الفوتونات، أو نادرًا ما يكون لها، وليست لها شحنة كهربية خاصة بها. فالنيوترونات مواطنون ليست لهم تفاعُلات كثيرة طويلة المدى بأي شكل، فهي في الواقع تميل أكثر نحو التفاعُلات القصيرة المدى. ولا تُجيد مثل هذه المجموعة التعرف على الآخَرين حتى تكون قريبة كفاية كي تتحسَّسَهم.»

تحرَّكا نحو النيوترون واقتربا منه حتى اصطدم بهما. صاح في حدة: «آه، ها أنت ذي. ادخلي ودعيني أغلق الباب. في الداخل أكثر راحةً ودفئًا.» تجاهل الفوتون، الذي لم يكن منتبهًا لوجوده تمامًا. اهتمَّت أليس بملاحظة أن الفوتون تلاشى ببساطة في تحصينات القلعة، التي كانت في النهاية مكوَّنة من فوتونات افتراضية صادرة من شحنة النواة.

تبعت أليس النيوترون إلى داخل القلعة وهو يتحسَّس طريقه عبر ممرٍّ حجري وعر. كان هذا الممر ضيقًا جدًّا لكن يبدو كأنه يتَّسع بلطف مع اقترابهما منه، ولذلك كان ثمة مساحة دائمًا تكفي لمرورهما عبره. رأت أليس هذا السلوك غريبًا نوعًا ما، لكنها لم تكن أبدًا متأكدة بما فيه الكفاية من كونه يحدث بالفعل كي تُصدِر أي تعليق. والآن بعد أن قابلت هذا النيوترون الذي تتبعه، لم يبدُ لها أنه مصدر تهديد كما كانت تخشى. كان غير صبور، أجل لا جدال في هذا، ولكنه ليس بأي حالٍ شريرًا. ذكَّر أليس بقريب لها من بعيد.

دخلا معًا حجرة مركزية ذات سقف مقبَّب مُرتفِع من أحجار غير مطليَّة. ترتفع الجدران عمودية من كل جانب وتَختفي في ظلال السقف. حول الجدران من أعلى كانت ثمة فتحات مقوَّسة تُؤدِّي إلى مُستوياتٍ أعلى مختلفة، ما أثار ذكريات أليس في تشوش بمستويات طاقة الإلكترونات التي كانت أليس قد رأتها في الذرة في الخارج. كانت مساحة الأرضية متوسِّطة، وكانت مزدحمة بجسيمات كثيرة بقدر ما تحتمل، لكن بمجرد دخول أليس ومرافقها لاحظت بوضوح أن الجدران الصخرية الضخمة تحركت للخلف قليلًا كي تُعطيَ المساحة الإضافية المطلوبة بالضبط لاستيعاب الشاغلين الجُدد.

كانت أليس متأكِّدة تمامًا مما رأته هذه المرة وعلقت على الحركة، أخبروها بأن: «هذا هو تأثير المجال المتَّسق ذاتيًّا ضمن حدود القلعة.»

«نحن النيوكليونات، مثلنا مثل الإلكترونات والجسيمات الأخرى كلها، يجب أن نَشغل حالات كَميَّة، والحالات المتوفِّرة هنا يتحكَّم فيها بئر الجهد الموضعي. في حالة الإلكترونات الموجودة داخل الذرة، نحن من نوفر بئر الجهد هذا. فحالات الإلكترونات يُحدِّدها الجهد الكهربي، ونحن من نتحكَّم في هذا الجهد. إنَّ الذرة هي منطقة نفوذنا، ويتحكَّم في طاقة جهد الإلكترونات بداخلها مقدار بُعد هذه الإلكترونات عن الشحنة الكهربية الموجبة للبروتونات في النواة المركزية. وعن طريق الجهد الكهربي الناتج عن هذه الشحنة، نتحكَّم نحن داخل النواة في حالات الإلكترونات، ويجب على الإلكترونات أن تتوافَق مع هذه الحالات بقدر ما تستطيع. أما في حالتنا فالوضع مُختلِف. فنحن من نُوفِّر الجهد الخاص بحالاتنا النووية.»

اعترضت أليس: «إذا كنتُم تُوفِّرون الجهد في كلتا الحالتين، فإن ذلك بالتأكيد يَجعل الحالتين مُتماثلتَين.»

«كلا، إنه يجعل الحالتَين مختلفتين تمامًا. فكما ترين، داخل الذرة يتوفَّر الجهد في الأغلب من النواة؛ لذلك تتحكَّم النواة في الحالات بالرغم من أن النيوكليونات نفسها لا تستفيد منها. فيتحكَّم الجهد في الحالات التي تُعطي توزيع الاحتمالات للإلكترونات، لكن الإلكترونات التي تستخدمها تأثيرها طفيف على الجهد. إن الجهد الذري هو نفسه لا يختلف باختلاف المكان الذي يُحتمَل أن توجد فيه الإلكترونات.»

«بالنسبة إلى النواة، على الجانب الآخر، فإن الجهد الذي نحن فيه الآن ينتج عن المجهود الجَمْعي لكل النيوكليونات بداخلها. فنحن لدينا نظام ديمقراطي للغاية نحكم به أنفسنا، مع أننا نحكم الإلكترونات بنظام استبدادي. إنَّ جهدنا الجَمْعي يحدد الحالات المتاحة لنا نحن النيوكليونات كي نَشغلها، وبذلك يتحكَّم في توزيع الاحتمالات. وهذا التوزيع يتحكَّم بدوره في الجهد، كما قلت في البداية. إنها حلقة مُفرغة، كما يُمكنكِ أن تتوقَّعي بالنسبة إلى العائلة النووية، ويمكنكِ رؤية أن الحالات التي نسكنها ستتغير بشكل طبيعي مع تغير توزيع النيوكليونات.»

سألت أليس، التي ظنت أنها قد فهمت هذه النقطة وأصبحت واضحة في ذهنها: «هل الجهد النووي ينتج عن الشحنة الكهربية نفسها مثل الجهد الذي يُمسك بالإلكترونات؟»

«آه، كلا، على العكس تمامًا في الحقيقة. فإنَّ الشحنة الكهربية في النواة بأكملها تحملها البروتونات. لا بد لكِ أن تري بعض البروتونات هناك.» ولوَّح في اتجاه الجسيمات القريبة. حدَّقت أليس في هذا الاتجاه، واستطاعت أن ترى المزيد من النيوترونات، التي بدت بالضبط مثل مرافقها. تناثَرت بينها جسيماتٌ أخرى بدَت أكثر حزمًا بوضوح. في حين كان النيوترون منفعلًا بعض الشيء، فقد بدَت هذه الجسيمات في حالة من غضب شديد مكبوت بالكاد. «جميع البروتونات تحمل شحنات موجبة، والجُسيمات التي لها نفس نوع الشحنة تَنفر بعضها من بعض، كما تعرفين. على الدوام تستشيط البروتونات غضبًا بعضها من بعض وتهدد بالانسحاب مُندفعة. ومن الصعب جدًّا، حسبما يُمكن أن أخبرك، إبقاؤها معًا.»

«ألا توجد نفس المشكلة عند الإلكترونات إذن؟ فأنا أفترض أن المشكلة نفسها ستكون موجودة عندها. فإن كانت للإلكترونات شحنة كهربية سالبة، فمِن ثمَّ سيكون لدى كل اثنين منها نفس الشحنة، ولا بد أن ينفر أحدهما من الآخر.»

«هذا صحيح تمامًا؛ إنهما يَنفران أحدهما من الآخر بالفعل. ومع ذلك، لا بد لكِ من إدراك أن الإلكترونات تكون مُنتشرة نسبيًّا وغير محدَّدة وشحناتها متباعِدة بشكلٍ كبير؛ لذلك فالتنافر الذي تحدثه يكون ضعيفًا تمامًا. قوى الجذب من الشحنة الموجبة المركزة في النواة قادرة على الحفاظ على تماسُكِها. تتزاحَم البروتونات في النواة بالقرب بعضها من بعض؛ لذلك تكون قوى التنافر قوية جدًّا. وتهدد القوى الكهربية بتمزيق النواة إربًا.»[١]

سألت أليس بشكلٍ منطقي: «في هذه الحالة ما الذي يُبقيكم كلكم معًا؟»

«إنَّ هذا يتحقَّق بفعل قوة مختلفة تمامًا، وهي قوة شديدة — في الحقيقة، وتُسمَّى التفاعل، أو التآثُر، النووي القوي.

«إنَّ قوة التفاعل النووي القوي شديدة للغاية. إنه قادِر على التغلُّب على التنافر الكهربي المدمِّر داخل النواة، مع أنه ليس له تأثير واضح خارج النواة. إنها قوة قصيرة المدى كما ترين. ففي داخل النواة تكون القوى النووية مُهيمِنة، لكن في الخارج ثمة أثر طفيف عليها، وكل ما بمقدور المرء أن يراه هو المجال الكهربي الناتج عن الشحنات الموجبة التي تحملها البروتونات. نحن النيوكليونات نتمسك بقوة بجيراننا المباشرين عندما يكونون في متناول اليد، لكننا في الواقع لا نعرف شيئًا عن أولئك البعيدين في الزحام، ولا يكون لنا تأثير كبير للغاية عليهم.»

منذ دخلت أليس إلى القاعة المركزية للقلعة وهي تشعر بعدم الراحة نوعًا ما. والآن يُراودُها شعور غريب على نحوٍ خاصٍّ وتحسُّ بوجود شيء ما في القاعة الآن، لم يكن موجودًا قبل لحظة. نظرت حولها ولم تَستطِع أن ترى شيئًا. ثم نظرت إلى الأعلى نحو السقف. رأت بصعوبة الجانب المقوَّس الكبير لشكلٍ ما مُستدير ضخم يمرُّ عبر الظلال المُعتِمة للفضاء البالغ الارتفاع فوق رأسها. كان من الواضح أنه جزء صغير من جسمٍ ما أكبر كثيرًا، بدا مبهمًا وغير واضح المعالم، مثل شبح، كان يمرُّ عبر الجدران المحيطة كما لو أنها غير موجودة.

صاحَت أليس بصوتٍ عال، ثم كان عليها أن تصف ما تراه للنيوترون، الذي لم يكن قادرًا على رؤيته بالتأكيد. قال لأليس: «آه، هذا إلكترون. إن الإلكترونات تملأ كامل حجم الذرة كما تعرفين، وهذا يعني أنها تمرُّ عبر النواة كما تمرُّ عبر أي مكان آخر. لا تتأثَّر الإلكترونات إطلاقًا بأي تفاعلات قوية؛ لذلك فهي لا تُدرك وجودنا في أثناء مرورها. إنَّ النواة هي جزء ضئيل للغاية من الحجم الذي تَشغلُه الإلكترونات، ولذلك نحن لا نرى الكثير منها هنا. حسنًا، في الحقيقة أنا لا أراها على الإطلاق، لكنَّكِ تعرفين ما أقصد.»

تساءلت أليس: «ألا يَحدُث هذا التفاعل القوي بفعل الفوتونات إذن؟» فقد قيل لها إن تبادُل الفوتونات يعمل على تماسُك الذرات معًا، لكنها فهمت أن هذا كان بسبب التفاعُل بين الشحنات الكهربية، وأدركت أن هذا شيء مختلف تمامًا.

«أنتِ محقَّة، إن هذا لا علاقة له بالفوتونات. إنه يحدث بفعل تبادل الجُسَيمات — كل التفاعُلات تَحدُث بفعل هذا — لكنها تَشتمِل على نوع مُختلِف من الجسيمات. ففي الحقيقة التفاعُل القوي يحدث بفعل تبادل الكثير من الجُسَيمات المختلفة، أبرزها يُدعى البيونات. تكون هذه الجسيمات بالضرورة بوزونات، حيث تُنتَج وتَفنَى في أثناء عملية التبادُل. وللبيونات كتلة أكبر بكثير من تلك التي للفوتونات. في الحقيقة لا توجد للفوتونات أي كتلة على الإطلاق، وهو ما يجعلها غير مكلِّفة تمامًا عند إنتاجها، من حيث الطاقة. وتزيد كتلة اللبيونات عن كتلة الإلكترون بثلاثمائة مرة. لا يزال من المُمكن إنتاجها باستخدام تذبذبات الطاقة، بقدر ما تسمح به علاقة هايزنبرج، لكن يجب أن تكون التذبذبات كبيرة للغاية كي توفر طاقة كتلة السكون البيون، ولذلك لا يمكنه أن يبقى طويلًا. وفي الوقت المتاح لا يُمكن للبيونات أن تَبتعد كثيرًا عن مصدرها، ولذلك لا يمكن مبادلتها إلا مع الجسيمات القريبة، التي تكاد تلمسها في الحقيقة. ونتيجة لذلك، يكون التفاعل القوي قصير المدى للغاية.»

عند هذه النقطة حدث اضطراب. انخرط بروتونان في جدال مُفاجئ وعنيف وهدَّدا بأن يتحرَّكا مندفعَين في اتجاهَين معاكسين. اندفعت النيوترونات بينهما كي تَفصل المتخاصمَين وتُبقيهما بعيدَين بعضهما عن بعض كما يجب؛ مما يُخفِّف من قوى تنافرهما المتبادل. وفي الوقت الذي تزاحمت فيه النيوترونات بين البروتونين كي تزيد من الفصل بينهما، تمسكت بقوة أيضًا حتى تحافظ عليهما داخل حدود النواة.

أبدى نيوترون ملاحظته: «أترين ضرورة وجودنا نحن معشر النيوترونات للحفاظ على تماسُك النواة، خاصة في الأنوية الأكبر حجمًا؟ ففي النواة، يحدث تنافر بين جميع البروتونات، وليس فقط مع تلك المجاوَرة لها مباشرةً، كما في حالة التفاعل القوي. يتزايد التنافر سريعًا مع تزايد عدد البروتونات في النواة، وهذا يعني أن الأنوية الثقيلة، التي تحتوي على عدد كبير من البروتونات، تحتاج بشكل متناسب إلى نيوترونات أكثر كي تبقى البروتونات بعيدة بعضها عن بعض كما يَنبغي، حتى لا يطغى تنافرها على قوى التجاذُب الصادِرة من جيرانها المباشرين.»

«يرجع أصل عائلة النيوكليونات إلى عشيرتَين مختلفتَين، البروتونات والنيوترونات. تُظهِر شجرة النسب المعروضة على الحائط هناك كيف يَختلطان.» أشار إلى مخطَّط

كبير معلَّق على الحائط، ضمن رموز أخرى متنوعة وزخارف بشعارات النبالة. أظهر هذا المخطط رسمًا كبيرًا ومذهلًا لبروتون ولنيوترون في الركنين العلويين من الرسم. وفي المنتصَف رأت قائمة بكل الأنوية المختلفة التي تشارك فيها العائلة. رأت أليس أنها معرَّفة باستخدام الملصَقات نفسها التي رأتها تميز الذرات المختلفة في مرسى ماندلييف. وحين فحصتها عن قرب لاحظت أن التصنيفات مختلفة قليلًا: كان ثمة رقم آخر حصل عليه كل واحد منها. رأت الأنوية على هذه الصورة $_1H^1$ و$_2He^4$ و$_3Li^7$ وهكذا.

رأت خطوطًا مرسومةً من البروتون والنيوترون الأصليين أعلى الصورة تصل إلى مختلف الأنوية المدرجة. كان ثمة خط واحد من البروتون إلى نواة $_1H^1$ ولا يُوجَد أي خط على الإطلاق من النيوترون إليها. وكان ثمة خطان إلى نواة $_2He^4$ من البروتون واثنان من النيوترون. بعد هذا كان لدى العديد من الأنوية العدد نفسه تقريبًا من الخطوط من كلٍّ من البروتون والنيوترون على حدٍّ سواء. وعندما نظرت أليس إلى أسفل الرسم رأت لدى كل نواة موجودة فيه خطوطًا أكثر للنيوترون من تلك القادمة من البروتون.

«يبين هذا الرسم طريقة توزيع سكان كلتا العشيرتين المختلفتين من النيوكليونات في الأنوية المختلفة. يخبرنا الرقم الأول بعدد البروتونات الموجودة. وهذا هو نفس عدد الإلكترونات التي يُمكن التحكم فيها، ومن ثمَّ يقرر السلوك الكيميائي للذرة. أما الرقم الثاني فيمثل العدد الكلي للنيوكليونات التي تسكُن النواة المشار إليها.»

«يوجد بالأنوية الأخف وزنًا العدد نفسه من البروتونات والنيوترونات. على سبيل المثال، تحتوي نواة الكربون على ستة بروتونات وستة نيوترونات. وما زال التنافر الذي يحدث من ستة بروتونات، كل واحد منها ينفر من كل بروتون آخر من الخمسة الآخرين، غير كافٍ ليتغلب على التجاذب الذي يسببه التفاعل القوي. ومن ناحية أخرى، هنا في نواة اليورانيوم، لدينا ٩٢ بروتونًا. والآن قوة التنافُر بين جميع الأزواج المختلفة من البروتونات كبيرة للغاية، ولذلك فثمَّة حاجة بالفعل لعدد كبير نسبيًّا من النيوترونات كي تبقى البروتونات متباعدة وتخفف من تنافرها الكهربي. في نواتنا يوجد ١٤٣ نيوترونًا إجمالًا. وعدد النيوترونات يجب أن يكون هو نفسه تمامًا في كل نواة يورانيوم. بالنسبة إلى أي عنصر فإن عدد البروتونات لا يتغيَّر أبدًا، بما أن هذا يحدد عدد الإلكترونات؛ ومن ثمَّ يُحدِّد السلوك الكيميائي، لكن عدد النيوترونات ليس له تأثير كبير على كيمياء الذرة ويمكن أن يختلف قليلًا بين نواة وأخرى. تعرف أنوية العنصر التي لها أعداد مختلفة من النيوترونات بالنظائر. نحن لدينا ١٤٣ نيوترونًا في هذه النواة، كما قلت لكِ، لكن الكثير من أنوية اليورانيوم لديها ١٤٦، ما يجعلها أكثر ثباتًا بعض الشيء.»

قالت أليس: «لقد سمعت عن الاستقرار من قبل. لقد ظننت أن الذرات غير متغيِّرة وثابتة تمامًا، ومع أنها من المحتمَل أن تشارك في مركبات مختلفة فإن الذرات نفسها تبقى للأبد.»

«ليس تمامًا؛ إذ تعمل جدران حاجز الجهد النووي على إبقائنا بالداخل، بالضبط كما يبقي حاجز كولوم البروتونات الأخرى في الخارج. ومع ذلك، أحيانًا ما يَحدُث اختراق وتتغير النواة على نحوٍ ما. إن هذا يحدث في الاتجاهين؛ فمن المحتمَل أن تَقتحم جسيمات من خارج النواة، أو من المحتمل أن يُحاول البعض من بين مجموعتنا الهرب.»

«إنَّ سبب بقاء البروتونات والنيوترونات داخل النواة هو نفسه سبب بقاء الإلكترونات داخل الذرة؛ فهي تحتاج إلى طاقة أقل في مكانها هذا عما تحتاج إليه لو أنها بالخارج. يُدعى الانخفاض في الطاقة عن القيمة التي سوف تكون لها خارج النواة بطاقة الربط النووي. ثمة مستويات طاقة للنيوكليونات داخل النواة تُشبه كثيرًا تلك التي للإلكترونات داخل الذرة، ولأنَّ النيوترونات لا تُشبه البروتونات فإن هذه المستويات من الممكن أن تَمتلئ بالنيوترونات والبروتونات على نحو مستقل. ولأن عملية ملء المستويات هي نفسها بالنِّسبة إلى النيوترونات والبروتونات، فإن الأنوية المستقرَّة تَميل إلى أن تَحظى بأعداد مُتساوية من النوعين. بالنسبة إلى الأنوية الأثقل وزنًا التي تحتوي على أعداد أكبر من البروتونات، فإن نسبة النيوترونات تكون أكبر كما بيَّنتُ بالفعل. بالنسبة إلى جميع الأنوية ثمة نسبة من البروتونات إلى النيوترونات تُحقِّق أكبر استقرار للذرة. وسوف تسبب الزيادة في أيٍّ من الفئتين في عدم الاستقرار ونوع من التحلُّل أو الاضمحلال. وأنا مُضطرٌّ إلى الاعتراف بأنه في ذرة اليورانيوم يكون التنافُر بين البروتونات كبيرًا للغاية حتى إنَّ النواة بالكاد تكون مستقرَّة في أحسن الأحوال. وأيُّ اضطراب في التوازن بين البروتونات والنيوترونات قد يكون كارثيًّا.»

فجأة دوى نفيرُ الإنذار، وتردَّد صوتٌ حادٌّ عبر الحجرة ذات السقف المقوَّس: «إنذار! إنذار! حالة ألفا. لدينا محاولة للهروب قيد التنفيذ.»

في الأنوية الكبيرة ذات النيوكليونات الكثيرة يُصبح التنافر بين جميع البروتونات أقوى نسبيًّا، وقد تُصبح غير مستقرَّة. ومن المُحتمَل أن تتعرَّض إلى تحلُّل إشعاعي، حيث تُشعُّ النواة جُسَيم ألفا الذي هو عبارة عن مجموعة مُترابِطة بإحكام مكوَّنة من نيوترونين وبروتونين تخترق حاجز كولوم. من المحتمَل أن تتعرَّض النيوترونات أيضًا إلى تحلُّل بيتا (β)، حيث يجري إنتاج إلكترون داخل النواة

وفي الحال يهرب لأنَّ الإلكترونات لا تتأثر بالتفاعل القوي. قد تصدر الأنوية أيضًا أشعة جاما (γ)، وهي مجرد فوتونات عالية الطاقة.

نظرت أليس حولها كي ترى إذا ما كانت تستطيع رؤية أي سبب لهذا الإنذار. بدا كل شيء إلى حدٍّ كبير كالسابق. كانت ثمة حركة كبيرة بين النيوكليونات المُحتشِدة، لكنها كانت مثل الجسيمات الأخرى التي قابلتها من قبل في هياج مُستمِر طوال الوقت؛ لذلك لم يكن هذا أمرًا جديدًا عليها. عندما نظرت بإمعان لاحظت مجموعة صغيرة من الجسيمات، بروتونين ونيوترونين، تتحرَّك معًا خلال الزحام، تتمسك بعضها ببعض بإحكام. كانت تندفع نحو الجدار، تَصطدِم به وترتدُّ عنه عائدة إلى مكانها، ثم تندفع عبر الغرفة كي تَصطدم بالجدار المقابل. ذكَّر هذا أليس بالشخص الذي رأته يُحاول اختراق بابه المقفَل عندما وصلت في البداية إلى بلاد الكَم.

علقت بهذا لمرافقها، وردَّ عليها: «إن ما تصفينه هذا هو جسيم ألفا متكتل. جسيم ألفا هو مجموعة من بروتونين ونيوترونين، ترتبط معًا بإحكام شديد جدًّا، ما يجعلها تعمل كجسيم واحد. وبما أنه يحتوي على بروتونين فإن جسيم ألفا يتنافر مع الشحنة الموجبة الكلية للبروتونين ويحاول الهرب، لكن يمنعه من ذلك الجدار حول النواة. تُحاول المجموعة أن تشق نفقًا إلى الخارج. إنها تخطط للهرب عن طريق اختراق الحاجز، وعاجلًا أو آجلًا سوف تنجح بالتأكيد.»

سألت أليس في فضول: «ما الوقت الذي من المحتمل أن تستغرقه كي تنجح في هذا؟»

«أعتقد أنها ستستغرق بضعة آلاف من السنين.»

تساءلت أليس: «ألا تعتقد إذن أنه من السابق لأوانه قليلًا أن تقرعوا الإنذار؟ يبدو لي كما لو أن لديكم وقتًا وفيرًا كي تتعاملوا مع مثل هذا الهروب دون أن تَفزعوا!»

«أجل، ولكن لا يُمكننا التأكُّد من ذلك. فمن المُحتمَل أن يَستغرق منها الهرب آلاف السنين لكنها قد تنفذ إلى الخارج في أيِّ لحظة. لا توجد أي وسيلة للتأكد من هذا؛ إنها كلها مسألة احتمالات.»

سألت أليس: «هل كل محاوَلات الهروب من النواة تحدث عن طريق اختراق الحاجز؟»

«لا، مطلقًا. فانبعاث ألفا يَحدُث عن طريق اختراق الحاجز، كما بيَّنتُ للتو. لكن لدينا أيضًا انبعاثات بيتا وجاما ولا يتطلَّب أيٌّ منهما اختراق الحاجز.»

سألت أليس في تأدُّب: «ماذا تكون إذن؟» افترضت أنها كانت على وشك أن تعرف سواء سألت أم لا، لكن بدا أنها لو سألت سيكون هذا أكثر تهذيبًا.

«إن انبعاث جاما هو انبعاث لفوتون، يشبه كثيرًا ما تحصلين عليه من الإلكترونات في الذرة. عندما يُستثار إلكترون إلى حالة أعلى ثم يسقط عائدًا إلى حالة في الأسفل، يشعُّ فوتونًا كي يحمل بعيدًا الطاقة المنبعثة. الأمر نفسه يحدث عندما تعمل استثارة النواة على إعادة ترتيب البروتونات المشحونة: يَنبعث فوتون عندما تعود النواة إلى مستوى الطاقة الأدنى. ولأنَّ طاقات التفاعل داخل النواة تكون أكبر بكثير من الموجودة في النواة بوجه عام، فإن فوتونات جاما تكون طاقتها أعلى كثيرًا من تلك التي تَنبعث من الإلكترونات الذرية. في الحقيقة سوف تكون طاقتها أكبر ببضع مئات الآلاف من المرات، ومع ذلك تظلُّ فوتونات.»

واصل مصدر معلوماتها حديثه قائلًا: «انبعاث بيتا هو انبعاث لإلكترون من النواة.»

احتجَّت أليس وقالت: «أعتقد أنك قلت إنه لا توجد أي إلكترونات في النواة. لقد قلت إن الإلكترونات غير مُدرِكة للتفاعل القوي وفقط تنجرف معه أحيانًا.»

«هذا صحيح تمامًا، لا تُوجَد أي إلكترونات في النواة.»

قالت أليس بصبر: «إذا كانت النواة لا تستطيع أن تُمسك بالإلكترونات ولا توجد أي إلكترونات داخل النواة. فكيف يُمكن لأحد الإلكترونات أن يهرب منها. إنَّ هذا لا يحمل أي منطق. إنه لا يستطيع الهرب من مكان ما إلا إذا كان موجودًا فيه من البداية.»

قال النيوترون بلطف: «لأن النواة لا يُمكنها الاحتفاظ بإلكترونات فهي تهرب منها بسهولة شديدة وبسرعة. تُنتج الإلكترونات في داخل النواة مباشرةً بتفاعُل ضعيف. وبالتأكيد لأنَّ النواة لا يمكنها الإبقاء عليها فإنها تَهرُب على الفور. إن الأمر مباشرٌ وواضحٌ عندما تفكرين فيه.»

قالت أليس التي شعرت بأن الأمر ليس واضحًا على الإطلاق بعد: «من المحتمَل أن يكون الأمر كذلك، لكن ما هو التفاعل الضعيف؟ كيف تقوم الإلكترونات ...؟»

مرةً أخرى دوى صوت البوق وصاح منادٍ في مكان ما في أعلى الحُجرة: «فليَنتبِه الجميع. القلعة تتعرَّض لهجوم! نحن مُحاصَرُون ببلازما ساخنة من جسيمات مشحونة.»

صاحت أليس: «يا إلهي! يبدو هذا خطيرًا.»

ردَّ نيوترون بجوارها لتهدئتها: «لا، ليس الأمر خطيرًا بالفعل. فمن غير المحتمل أن تملك أيٌّ من تلك الجُسَيمات المشحونة في البلازما الطاقة الكافية كي تَخترق دفاعاتنا، تعالي لتري.»

قاد أليس عبر مستويات الطاقة والدهاليز المختلِفة داخل القلعة حتى وصَلا إلى موقع استطاعت أليس أن تشاهد منه الجزء الخارجي. رأت قلاعًا نووية أخرى على البُعد منتشرة عبر الأرض المنبسطة. كما رأت عددًا من البروتونات تتحرَّك سريعًا من حولها. قال لها مرافقها: «هذه البروتونات من بلازما هيدروجين ساخنة. وفي البلازما تفقد الذرات بعض إلكتروناتها وتُصبح أيونات موجَبة بشحنة إجمالية موجبة. تحتوي نواة الهيدروجين على بروتون واحد فقط؛ لذلك عندما تَفقد ذرة الهيدروجين إلكترونها فلا شيء يتبقى سوى بروتون واحد. يُمكِن رفع درجة حرارة البلازما بحيث تُصبح ساخنة جدًّا، ومن ثمَّ تَندفِع البروتونات في جميع الأرجاء بطاقة كبيرة، لكنها تكون غير كافية لها كي تَقتحِم المكان هنا.» وهكذا أنهى كلامه في رضا.

شاهدَت أليس بعض البروتونات وهي تأتي مُندفِعةً نحو النواة وتُواصِل متسلقة القاعدة المقوَّسة لجدارِها. مع اندفاعها للأعلى، تُصبح حركتها بطيئة أكثر فأكثر حيث تَفقِد طاقتها الحركية، وفي النهاية يبلغ وهنها مُنتهاه وتقفُ على مسافة قصيرة على الجدار. من هذه النقطة تَنزلِق عائدة للأسفل من جديد وتَندفِع مُبتعِدة في اتجاه مختلف عن ذلك الذي جاءت منه.

واصَلَ مُرشد أليس حديثه: «سوف ترَين، حتى لو لم أستطع أنا أن أرى، أنها لا تُحقِّق أي نجاح على الإطلاق في الولوج بالفعل إلى الداخل.»

سألت أليس: «ألا تستطيع الدخول عن طريق اختراق الحاجز إذن؟»

«حسنًا، بلى، تستطيع الدخول بواسطة اختراق الحاجز من حيث المبدأ، لكنها تقضي وقتًا قليلًا للغاية بالقرب من النواة؛ لذلك يكون هذا من غير المُمكن.»

عند هذه النقطة لاحظت أليس اضطرابًا من بعيد. فقد كان شيءٌ ما يَقترِب بسرعة ملحوظة جدًّا. سألت في قلق: «ما هذا الذي يَقترب؟»

أجاب النيوترون: «ليسَت عندي أي فكرة. هل ثمةَ شيء ما يَقترب؟»

أدركت أليس أنه من الطبيعي للنيوترون ألا يكون مدركًا لاقتراب الجسيم المشحون السريع بينما يأتي نحوهما مندفعًا، مصحوبًا بأعمدة متصاعدة من فوتونات افتراضية نادرًا ما تُرى في أثره وهو يَندفع في طريقه العاصِف. وبينما كانت أليس تصفُ مظهرَه للنيوترون وصل الوافد الجديد إلى القلعة الواقعة في طريقه. ودون أي تقليل واضِح من اندفاعه الجنوني إلى الأمام ركض صاعدًا جدار الحاجز ووصَل إلى قمَّته. في اللحظة التالية رأته أليس يركض مندفعًا بعيدًا وقد بدا تأثُّره طفيفًا من مواجهته تلك. لم تَستطِع

أن تقول الشيء نفسه عن النواة التي دخل فيها. فقد انفجَرَت هذه النواة وتمزقت إربًا بالكامل، وتطايَرت أجزاء كبيرة منها في جميع الاتجاهات المختلفة. أكملت أليس وصفها للحدث.

«حسنًا، لا بد أن يكون ذلك إشعاعًا كونيًّا. لا يمر علينا واحد إلا على فترات متباعِدة جدًّا. إنها تأتي من مكان ما بعيد خارج عالَمنا، وتكون لديها طاقة هائلة. بالنسبة إلى هذه الأشعة فإن الطاقة اللازمة لاختراق حاجز كولوم للنواة تكاد لا تذكر ولا تمثل أي عائق على الإطلاق. نحن ليس لدينا أي دفاع ضدها، لكن لحسن الحظ، هي كما قلت نادرة الحدوث للغاية.»

حين نظرت أليس إلى الأسفل في المساحة بالخارج استطاعَت أن تميز بضعة أشكال غير لافتة للنظر تتحرك ببطءٍ شديد في خلسة. صاحت، وقد نسيت من هو مرافقها: «آه انظر! ثمة بعض النيوترونات تتحرَّك هناك في الخارج.»

صاح النيوترون بجوارها: «ماذا؟ هل أنتِ متأكِّدة؟ إن هذا خطير. تعالي، يجب أن ننزل إلى القاعة الرئيسية في الحال.»

انطلق مع أليس وعاد بها عبر مستويات الطاقة المتوالية إلى القاعة التي دخلتها في البداية، متجاهلًا اعتراضها بأنه لم يكن يوجد الكثير من النيوترونات في الخارج، وأنها لم تكن تملك الكثير من الطاقة على الإطلاق، بالفعل.

كانا بالكاد قد وصَلا عندما انفجَرَ نيوترون غازٍ عبر الجدار مباشرةً دون تحذير وهبط في منتصَف الغرفة فوق جميع الجسيمات الأُخرى. لم يكن هذا النيوترون من سكان النواة المعتادين لكنه كان واحدًا من النيوترونات الأجنبية التي دخلت من الخارج. تذكرت أليس ما أخبرها به الفوتون الافتراضي عن أن حاجز كولوم ليس له أي تأثير على الجسيمات المُحايِدة، وكيف أنها هي نفسها قد دخلت عبر الحاجز دون صعوبة. وبهذه الطريقة نفسها دخل هذا النيوترون دون دعوة من أحد.

حدث في الحال نشاط صاخب كبير وفزع هائل بين جميع النيوكليونات. فاندفعَت إلى الأمام وإلى الخلف في هلع، وظلَّت تَندفع من رواق إلى الذي يليه، وهي تَصيح بأن استقرار النواة قد اضطرب بالكامل بإضافة هذا النيوترون الزائد. وبينما هي تندفع إلى الأمام والخلف، ذعرت أليس كثيرًا حين اكتشفت أن الحجرة بأكملها تهتز بعنف متعاطفةً مع الوضع. فقد كانت الجدران الصخرية الضخمة ترتجف مثل قطرة سائل تهتز. وفي لحظة تكون الغرفة مربعة ومُكتنِزة، وفي اللحظة التالية تتمدَّد كثيرًا فتُصبح طويلة ورفيعة

للغاية. تكوَّن عنق ضيق في المنتصف بالقرب من المكان الذي كانت أليس تقف فيه، وهكذا انقسمَت الحجرة إلى اثنتَين تقريبًا. تأرجحت الجدران إلى الأمام والخلف، وفي كل مرة كانت الحُجرة تزداد ضيقًا أكثر فأكثر من المنتصَف. تمددت الحجرة للمرَّة الأخيرة، ورأت أليس الجدران البعيدة تندفع مُبتعِدة في اتجاهات معاكِسة بينما الجدران الأقرب جاءت مُقتربة كما لو أنها سوف تَصطدِم بها وبالجُسَيمات التي كانت بجوارها. في السابق كانت الحركة تنعكس دومًا قبل أن تنغلق الفجوة، لكن في هذه المرة اصطدمت الجدران بعضها ببعض، تمامًا حيث كانت أليس تقف مع بعض النيوترونات.

يُكوِّن الجهد الكهربي للنواة حاجز كولوم الذي يصدُّ الجسيمات موجبة الشحنة. لا تَستطيع البروتونات ذات الطاقة المنخفِضة العبور من فوق الحاجز. يُمكنها مبدئيًّا المرور عبره من خلال اختراق الحاجز، لكن احتمالية حدوث هذا ضئيلة حيث إنها تمرُّ فقط بالجوار وتفاعلها مع النواة يكون عابرًا فقط. لدى بعض جسيمات الأشعة الكونية طاقة كافية لتجتاز الحاجز ويُمكنها بسهولة العبور من خلاله، كما أنها تزود النواة بطاقة كافية في أثناء مرورها تعمل على تعطيل عملها بالكامل.

ليس للنيوترونات أي شحنة كهربية؛ ومن ثمَّ فالحاجز بالنسبة إليها غير موجود. وعليه فإن النيوترون الذي يُصادف اصطدامه بالنواة يمر عبر الحاجز مباشرةً.

عندما تحرَّكَت الجدران عبر أليس، وجدت نفسها تقف من جديد في خارج القلعة على الأرض المنبسطة. نظرت وراءها نحو القلعة ورأت أن البرج المرتفع المعتم قد انشطر بصدع طولي يمرُّ في منتصفه. وبينما هي تنظر تمزقت القلعة إلى نصفَي برج انهارَا بعيدًا بعضهما عن بعض. كان كل واحد منهما يهتز بعنف، وكان سطحهما الخارجي يهتز بشدة كحقيبة ممتلئة بالهلام. حلَّقت الفوتونات عالية الطاقة من القلعتَين عاليًا كأنها عرض مذهل من الألعاب النارية، وذلك لأن القلعتين كانتا تتخلَّصان من طاقتيهما الفائضة. هدأت الاهتزازات تدريجيًّا وارتفع الشكلان غير المنتظمين داخل الشكل الطويل المرتفع نفسه الذي رأته في البداية. ظهرت أمامها الآن نسختان متماثلتان أصغر حجمًا من قلعة رذرفورد، إلا أنهما لم يقفا بل انزلقا سريعًا بعيدًا بعضهما عن بعض، مدفوعتَين بالشحنة الموجبة التي كانتا يَتشاركانها فيما بينهما في السابق.

اعترفت أليس بينها وبين نفسها وهي تنظر حولها إلى المشهد الذي أصبح هادئًا حاليًّا: «حسنًا، أنا سعيدة بأن هذا انتهى. لقد كان مخيفًا بحق إلى حدٍّ كبير.» استطاعت

أن ترى القليل من النيوترونات التي كانت قد قُذفت معها من القلعة عندما انشطَرَت إلى اثنتين. انتشرت هذه النيوترونات فوق الأرض المنبسِطة، واندفعت في اتجاهات عشوائية. وبينما هي تشاهد هذا، وصَل أحدها بمحض الصدفة إلى شكل بعيد لقلعة نووية أخرى وفي التوِّ غاص في داخلها عبر جانبها.

مضَت فترة وجيزة دون أن يحدث شيء. ثم بات في إمكانها أن ترى هذه القلعة أيضًا وقد بدأت تهتز. زاد الاهتزاز حتى انشطَرَت القلعة فجأة من منتصفها. صاحت أليس في فزع بينما ترى النصفَين يندفعان متباعدَين، ويُطلِقان فوتونات مفعمة بالطاقة: «آه، لا!» وبشكل غير ملحوظ تقريبًا، هربت مجموعة جديدة من النيوترونات بعيدًا عن مكان الكارثة.

قبل أن يمرَّ وقت طويل، وصل زوجٌ من النيوترونات تصادف أنهما كانا يتجوَّلان الآن بلا هدف في أنحاء الأرض المنبسِطة إلى أنوية أخرى ودخلا فيها. تكرَّرت العملية من جديد، وانتهى الحال مرةً أخرى بانقسام هذه الأنوية، وبتدفُّق المزيد من أشعة جاما في المكان، واندفاع المزيد من النيوترونات وتجوُّلها في الأرجاء في اضطراب. تكررت هذه العملية عدة مرات. وسرعان ما أصبح هناك أربع أنوية جميعها في مخاض الانفصال، ثم أصبحت عشرة، ثم عشرين، ثم خمسين. استطاعت أليس أن ترى في جميع الأنحاء من حولها قلاعًا نووية تنهار مُتناثِرة الأجزاء في انشطار مُلتهِب، بينما اشتعل المشهد من فوقها بالإشعاعات الكثيفة النشطة للفوتونات عالية الطاقة.

صاحت أليس في رعب: «هذا رهيب! ما هذا الذي يحدث؟»

قال صوتٌ هادئ بجانبها: «لا تقلقي يا أليس، إنه مجرَّد انشطار نووي مستحَث. إنه تفاعُل تسلسُلي، كما تعرفين. إنه شيء لا يَستدعي أن تقلقي بشأنه. إنكِ تقفين فقط في وسط ما يُطلِقُون عليه في عالَمكِ انفجارًا نوويًّا.»

استدارت أليس ورأت ملامح ميكانيكي الكَم اللطيفة. قال لها مرةً أخرى: «ليس عليك أن تقلقي. إنَّ الطاقات المتضمَّنة في تفاعل انشطاري أقل من تلك التي قابلتِها بالفعل في داخل النواة نفسها. المشكلة الوحيدة أنها الآن لم تعدْ حبيسة داخل النواة.» واصل حديثه بنفس الهدوء قائلًا: «لقد كنت أبحث عنكِ، فمعي دعوة عليَّ أن أعطيكِ إياها.»

قدَّم إلى أليس بطاقة دعوة ذات نقوش مَحفُورة. قال لها: «إنها دعوة إلى الحفل التنكُّري للجُسَيمات، إنه حفل ينعقد لكل الجسيمات الأولية.»

بعض الأنوية من المُمكن أن تَنشطِر إلى نواتَين أصغر حجمًا وأكثر استقرارًا، في عملية تُعرَف باسم الانشطار النووي. وقد يَحدث هذا الانشطار بسبب نيوترون إضافي، لا يُمكِن لحاجز كولوم أن يبقيه خارج النواة، ويكون هو القشة الأخيرة بالنسبة إلى نواة غير مُستقرَّة بالفعل. قد يُطلق هذا الانشطار نيوتروناتٍ أخرى عديدة، ما يُؤدِّي إلى حدوث تفاعُل تسلسلي.

هوامش

(١) من الممكن النظر إلى كل شيء تقريبًا في العالم المادي على أنه ناتج عن التفاعل بين الإلكترونات والفوتونات، سواء كانت افتراضية أو غير ذلك. إن خصائص المواد الصلبة والذرات الفردية والسلوك الكيميائي، التي تنشأ جميعها من التفاعل بين الذرات، يمكن اختزالها جميعًا إلى تفاعل كهربي بين الإلكترونات. وبالإضافة إلى الإلكترونات التي تتفاعل مع باقي العالم، يوجد نواة موجبة الشحنة في داخل الذرة. وتكون هذه النواة متماسكة تمامًا ليس بفِعل القوى الكهربية، بل في الواقع العكس تمامًا.

تحتوي نواة الذرة على نيوترونات، ليس لها شحنة كهربية، وعلى بروتونات موجبة الشحنة. وداخل الحيز الصغير للنواة، التي عادةً ما يكون قُطرها أصغر بمائة ألف مرة من الحجم الكلي للذرة، تكون قوة التنافُر المتبادلة بين البروتونات هائلة. تميل هذه القوة الكهربية إلى تمزيق النواة إربًا؛ لذلك لا بد من وجود قوة أكبر تعمل على تماسك أجزاء النواة معًا، وهي قوة لسببٍ ما لا تكون واضحة في أي مكان آخر. توجد هذه القوة بالفعل ويطلق عليها التفاعل النَّووي القوي. وبالرغم من قوتها، فإنها قصيرة المدى للغاية، بحيث لا تكون تأثيراتها واضحة خارج النواة. ينتج هذا التفاعل القوي عن تبادل الجسيمات الافتراضية، بالضبط مثلما ينتج التفاعل الكهربي عن تبادُل الفوتونات. لا توجد لدى الفوتونات أي كتلة سكون، لكنَّ الجسيمات المتبادَلة في التفاعل القوي تكون ثقيلة نسبيًّا. فلا بد أن تحصل على طاقة كتلة سكونها من خلال تذبذباتٍ كَميَّة كبيرة على وجه الخصوص، لا تكون متاحة إلا لوقتٍ قصير جدًّا. ويكون عمر مثل هذه الجُسَيمات الافتراضية الثقيلة قصيرًا للغاية، وهي غير قادِرة على الانتقال بعيدًا عن مصدرها، ولذلك فإن التفاعُل الذي تنتجه يكون بالتبعية قصير المدى.

الفصل التاسع

حفل الجُسيمات التنكري

تسلَّقت أليس السلَّم الحجري العريض الدرجات، وهي متشبِّثة بدعوتها، وقد قادَها إلى باب طويل لامع ومصقول. لا تستطيع تذكُّر كيف أتت إلى هناك، مع أنها تتذكَّر حصولها على الدعوة. قالت لنفسها مشجعة: «أظن أن هذا على الأغلب هو المكان الصحيح للحفل التنكُّري، أيًّا كان هذا. يبدو دائمًا أني أذهب في النهاية إلى المكان حيث يُريدني الناس أن أكون.»

وقفت خارج الباب وتفحَّصتْه. كان طلاؤه أملس وبرَّاقًا للغاية، ولونه أحمر داكنًا. كان له مقبض نحاسي لامع وقارع نحاسي على نفس درجة اللمعان على هيئة وجه غريب الشكل. كان الباب مغلقًا وموصدًا. ومن ثقب الباب ظهر ضوء شموعٍ مبهجٌ واستطاعت أليس أن تسمع صوت موسيقى صاخبة تُعزف بالداخل.

كيف لها أن تدخل؟ بدت الإجابة بديهية بالتأكيد، فأمسكت القارع بحزم ودقَّت بصوتٍ عال.

صاح صوت مُعذَّب من مكان قريب من يدها. في الحقيقة صدر الصوت من يدها فعليًّا: «آه، بعد إذنك، هل تُمانعين!» حدَّقت أليس في الباب وقد أصابتها الدهشة، لرؤيتها النظرة الساخطة الحانقة لقارع الباب الغاضب.

صاح في سخط: «ذلك كان أنفي. ما الذي تريدينه على أي حال؟»

قالت أليس: «أنا حقًّا آسفة. لكني اعتقدت أنه بما أنك قارع باب، فقد أستخدمك لأقرع الباب.» ثم سألت في نبرة حزينة: «كيف يُمكنني الدخول إذن إن لم أطرق الباب؟»

قال قارع الباب بغضب بالغ: «لا فائدة من الطرق. إنهم يُحدثون ضوضاء كبيرة في الداخل، ومن المستبعَد أن يستطيع أحد سماعك.» وكان حتمًا ثمة قدر هائل من الضوضاء

في الداخل؛ ضجة من محادَثات، وصوت مرتفع صوته يعلو على صوت الآخرين، لكنه ما زال غير مسموع بالكامل عبر الباب، وفوق ذلك كله صوت الموسيقى.

سألت أليس في شيء من الإحباط: «كيف لي أن أدخل إذن؟»

قال قارع الباب: «هل يُفترض بكِ أن تدخلي من الأساس؟ هذا هو السؤال الذي عليكِ طرحه في البداية، كما تعلمين.»

كان هذا صحيحًا بلا شك، لكن أليس لم تحب أن يقال لها هذا. تمتمت بينها وبين نفسها: «إنه لأمرٌ سيئٌ أن يقول لي الجميع الكلام ذاته.» قالت وهي ترفع صوتها وتُوجِّه حديثها لقارع الباب، رغم شعورها بشيء من الخجل وعدم الراحة بالحديث إلى قارع باب: «إن معي دعوة.» قالت هذا وهي ترفع الدعوة عاليًا أمام وجهه.

ردَّ قارع الباب: «حسنًا، فهمت. إن هذه دعوة إلى حفل الجسيمات التنكُّري، وهو نشاطٌ خاص بالجسيمات فقط، هل أنتِ جسيم؟»

أعلمته أليس قائلة: «أنا متأكِّدة من أني لا أعرف. لا أعتقد أني كنتُ كذلك من قبل، لكن مع كل الأشياء التي قد حدثت لي مؤخَّرًا، بدأت أشعر بأني لا بد أن أكون جُسيمًا.»

قال قارع الباب، بلُطف أكبر إلى حدٍّ ما الآن بعدما شعر بأن أنفه يتعافى: «حسنًا، دعيني أرَ إن كانت الشروط تَنطبِق عليكِ. دعيني فقط أنظر في دفتر ملاحَظاتي للحظة.» لم تَفهم أليس كيف يمكن لقارع باب أن يدوِّن ملاحظات، ناهيك عن النظر فيها، لكن بعد فترة صمتٍ قصيرة واصل قارع الباب حديثه: «آه، أجل، ها نحن أولاء، قائمة المواصَفات التي تعرِّف الجسيم.»

قرأ بصوتٍ عال: «أولًا، متى تُرصَدين هل يحدث هذا دومًا في موضع محدد بعناية؟»

أجابت أليس: «نعم، أظنُّ هذا، على حدِّ علمي.»

قال قارع الباب في تشجيع: «هذا جيد.»

«ثانيًا، هل لك كتلة مميزة ومحدَّدة بعناية — باستثناء التذبذبات الطبيعية، بالتأكيد.»

«حسنًا، أجل، فلم يشهد وزني تغيرًا كبيرًا منذ بعض الوقت.» هذا ما كانت أليس تعتقده، على أي حال.»

«رائع، ذلك شرط مهمٌّ للغاية، فجميع الجسيمات على اختلافها لديها كتلها الخاصة. فهذا أحد أكثر ملامحها المميزة، وهو مُفيد جدًّا في تمييز بعضها عن بعض.» كانت أليس مأخوذة بفكرة أنه من المُمكن تمييز الناس عن طريق أوزانهم بدلًا من النظر في وجوههم، لكنها أدركت أن الجسيمات بوجه عام ليس لديها أي شيء مميز فيما يتعلق بوجوهها.

«ثالثًا، هل أنتِ متَّزنة ومُستقرة؟»

قالت أليس وقد شعرت بإهانة مؤكدة: «أستميحك عذرًا؟»

«لقد قلت، «هل أنت متَّزنة ومستقرَّة؟» إنه سؤال بسيط للغاية. أو على الأقل يجب أن يكون كذلك. فقد ازدادت الشروط ضبابية مؤخَّرًا. ولكن هذا الشرط كان يعني في المعتاد ببساطة: «هل تتحلَّلين إلى شيء آخر؟» فإذا كان من المحتمَل أن تتحلَّلي في أي وقتٍ في المستقبل، إذن فأنتِ غير متزنة ومستقرة، هذا هو المقصود. لكن هذا لم يكن جيدًا بما يكفي! فقد بدأ الناس يقولون: «نحن لا يُمكن أن نكون متأكِّدين من أن أي شيء يعيش للأبد، وعليه يُمكن تصنيف الحالة المميزة التي تُوجَد لفترة طويلة على أنها جسيم.» ومن ثمَّ سيكون السؤال: «ما الذي تَعنيه عبارة فترة طويلة بما يكفي»؟» هل هي سنواتٌ أم ثوانٍ أم ماذا؟ في الوقت الحالي هم يقبلون الأعمار الأقل من جزء واحد من مائة مليون مليون جزء من الثانية كي يكون الجُسيم مُستقرًّا.» أنهى كلامه في اشمئزاز: «لذلك عليَّ أن أسألك الآن: هل تتوقَّعين أن تظلي على قيد الحياة لفترة أطول من جزء من مائة مليون مليون جزء من الثانية؟»

> ثمة العديد من الجُسيمات التي لها قدرة تفاعل قوية بخلاف البروتونات والنيوترونات. وليس من السهل أبدًا تمييز بعض أنواع الجسيمات من بعض. فبعضٌ من هذه الجسيمات له شحنات كهربية مختلفة، لكن العديد منها له الشحنة نفسها. يحدث التمييز بين الجسيمات عمليًّا عن طريق قياس كتلها، التي تكون مُميَّزة إلى حدٍّ ما. وتكون معظم الجسيمات غير مستقرَّة بدرجة ما: حيث يتحلَّل جسيم ثقيل إلى جُسَيمات أخفَّ وزنًا. وخارج النواة تكون النيوترونات نفسها غير مستقرة، بمتوسط عمر حوالي عشرين دقيقة.

أجابت أليس بثقة: «آه أجل، أعتقد هذا.»

قال قارع الباب متذمِّرًا: «رائع، إذن يُمكنني اعتبارك جسيمًا مستقرًّا. من الأفضل أن تدخلي، ربما ليس لديكِ أي شيء أفضل تفعلينه بدلًا من الوقوف هنا بالخارج، لكن أنا لديَّ ما أفعله.» صدر صوت طقطقة ثم فُتح الباب على مصراعيه. لم تضيع أليس أيَّ وقت وعَبَرت على الفور من خلاله.

في الداخل مشت أليس عبر صالة استقبال أنيقة، لها جدران مكسوَّة بألواح باهتة، وثريات، وكوات بها تماثيل. كان من العسير إلى حدٍّ كبيرٍ على أليس أن تتعرَّف على كثير

من تفاصيل هذه التماثيل، بما أن جميعها كانت لجسيماتٍ مرموقة. فكرت في أن النحَّات كان بارعًا بقدر كبير إذ نجح في جعل ملامح التماثيل تبدو غامضة للغاية وغير مقيدة بمكان واحد. وفي الحقيقة، ستبدو لمن يفتقرون إلى الخبرة كقطع بلا شكلٍ من الحجارة.

بعد صالة الاستقبال دخلت أليس إلى حجرة كبيرة، بدت كأنها قاعة رقص رئيسية أو صالون. كانت مُضاءة بثريات مزيَّنة تتدلى من السقف، لكنها بطريقةٍ ما لم تكن تصدر الكثير من الضوء وأغلب الغرفة كان غارقًا في الظلال. كان هناك بعض الكشافات اللامعة تدور في أنحاء الغرفة تسببت في جعل الظلال أكثر كثافة. استقر ضوءٌ واحد من هذه الكشافات أمام أليس تمامًا وصنع دائرة من الضوء. قفز في داخل مركز هذه الدائرة كيان يرتدي ملابس تشبه إلى حدٍّ كبير ملابس الجوكر في أوراق اللعب. كان زيُّه غريب الشكل مخططًا بالأحمر والأزرق والأخضر على نحوٍ مُضحِك. وعند تفحُّص أليس له عن قرب، رأت أنه كان مخططًا كذلك بالأحمر المضاد والأزرق المضاد والأخضر المضاد. لم تكن أليس قد رأت مثل هذه الألوان من قبل. (للأسف هذا الكتاب لا يحتوي على رسوم توضيحية ملونة لذلك لا يمكنك رؤية كيف تبدو هذه الألوان.) اكتمل مظهره الخيالي الرائع بقناع تعلوه ابتسامة عريضة دائمة على نحو لا يصدق.

توجَّه بحديثه لأليس ورحَّب بها بجميع اللغات؛ الفرنسية والألمانية والإنجليزية وقال لها: «مرحبًا بكِ في الحفل التنكُّري.»

ردت أليس: «أشكرك، لكن من أنت وما هو الحفل التنكري؟»

ردَّ عليها: «أنا رئيس المراسم الاحتفالية لهذا الحفل التنكري، وهو عبارة عن حفل راقص للجُسَيمات بالأقنعة. إنها أمسية للصخب والمكاشفة. إنها للكشف عن الغموض أسفل القناع. تأتي جميع الجسيمات إلى هنا كي تتحرَّك في المكان في رقص مفرح وحين تحصل على فرصة سانحة ترفع الأقنعة.» ثم أضاف قائلًا: «إلا أن قناعك ملهم للغاية.»

قالت أليس ببرود: «أنا لا أرتدي قناعًا.»

«آه، لكن هل يُمكنكِ التأكد من هذا؟ فنحن جميعًا نرتدي أقنعة من نوع ما. على كل حال الليلة سنكشف الأقنعة مرتين بالفعل.»

ردَّت أليس في تحدٍّ: «لا أفهم كيف يمكن حدوث هذا؟ فأنت لا يمكنك نزع القناع إلا مرة واحدة فقط. فبالتأكيد، أنت إما ترتدي قناعًا أو لا.»

«حسنًا، يعتمد هذا على عدد الأقنعة التي ترتدينها. يمكن للجسيمات أن ترتدي الكثير من الأقنعة؛ ففي بداية الأمسية يكون لدينا مجموعة من الذرات، ثم تخلع الأقنعة لتكشف

أنها مجموعة من الإلكترونات وعدد من الأنوية. وفي وقتٍ لاحق من الأمسية يحين موعدٌ آخر لخلع الأقنعة، فتنزع الأنوية أقنعتها لتبيِّن أنها في واقع الأمر نيوترونات وبروتونات مع بعض البيونات المتناثرة بينها. وأتوقع بثقة أنه سوف يحدث المزيد من نزع الأقنعة قبل انتهاء الأمسية.»

صاح بصوتٍ عالٍ فجأة، كان كافيًا كي يصل لجميع أنحاء الغرفة: «لكن، الآن، لنبدأ احتفالاتنا! السيدات والسادة فلتتفضَّلُوا في حيوية لتؤدُّوا رقصة مُصادِم الجسيمات.»

حدثت حركة صاخبة ورأت أليس الجُسَيمات المحتشِدة قد بدأت في التجمع صانعة دائرة في أنحاء الغرفة. صدقًا لم تكن تستطيع أن تجزم بأنها كانت ترقُص، لكنها بالتأكيد كانت تدور وتدور بسرعة تتزايَد طوال الوقت. بدت المشكلة الرئيسية أنها لا يُمكنها الاتفاق بوجه عام فيما بينها عن الاتجاه الذي كان عليها أن تدور فيه؛ لذلك كان بعضُها يدور في اتجاه والبعض الآخر يدور في الاتجاه الآخر.

اندفعت حِزم الجسيمات تدور أسرع فأسرع بعضها عبر بعض، ولم يمضِ وقت طويل حتى حدث ما كان محتومًا واصطدم جسيمان في ارتطام هائل. تفقَّدت أليس الحادث في اهتمام كي ترى إذا كانا قد أصيبا في هذا الاصطدام. لم تستطع في الواقع تحديد ما إذا كانا قد أصيبا بمكروه، لكنهما بالتأكيد لم يكونا هما نفسيهما بعد تفاعلهما. رأت العديد من البيونات الصغيرة تَندفِع مبتعدة عن التصادم، والتي لم تصدِّق أنها كانت من قبل. وتغيَّر الجسيمان المصطدمان نفسيهما إلى شيء جديد تمامًا. كانا أكبر حجمًا وأصبح شكلهما أكثر غرابة عما كانا عليه، بكل تأكيد لم يكونا على الهيئة نفسها.

استمرَّ الرقص وحدثت حالات تصادم أخرى، أكثر وأكثر مع مرور الوقت. ومع كل تصادم يحدث، تتغير الجسيمات النووية المعتادة نسبيًّا إلى شيءٍ ما جديد وغريب. وسرعان ما بات هناك تنوع محيِّر من جسيمات مختلفة تمثِّل أنواعًا أكثر بكثير من التي رأتها أليس من قبل، أو حتى من التي تصوَّرت وجودها.

تساءَل صوت بجوار أذن أليس: «منظرٌ بديع، أليس كذلك؟» لقد كان رئيس المراسم، لا يبعد عنها قناعه المُبتسِم إلا مسافة ذراع. «يا له من حشد هادروني لمحتفلين من الجسيمات! ويا له من تنوع باريوني عظيم! أعتقد حقًّا أنه لم يعد بينها الآن اثنان متماثلان!»

لم تفهم أليس كثيرًا من الكلمات التي استخدمها وشعرت أن التصرف الأكثر حكمة هو ألا تسأل عنها؛ فقد أرادت أن تعرف بأبسط شكل ممكن ما كان يحدث فقط. تساءلت: «من أين جاءت جميع هذه الأنواع الجديدة من الجسيمات؟»

يُمكن تخليق الجسيمات في عمليات تصادم، فتتحوَّل الطاقة الحركية للجُسَيمات المتصادمة من أجل توفير طاقة كتلة السكون للجسيمات الجديدة. تمَّ اكتشاف العديد من هذه الجسيمات وصُنفَت في العديد من المجموعات المُتماثِلة، لكن أصبح من المعروف الآن أنها عبارة عن مجموعات مختلفة من الكواركات، تمامًا كما أن الذرة عبارة عن تجمع من الإلكترونات والبروتونات والنيوترونات داخل النواة. تحتوي الفرميونات أو الباريونات على ثلاثة كواركات، بينما البوزونات أو الميزونات تَحتوي على كوارك واحد وكوارك مضاد.

«لقد تكوَّنت هذه في الاصطدامات بالتأكيد. فكما رأيتِ، كانت الجسيمات جميعها تدور بسرعة كبيرة للغاية في الحقيقة؛ ولذلك كان لدى كلٍّ منها قدر كبير من الطاقة الحركية. فعندما اصطدم بعضها ببعض، أمكن تحويل هذه الطاقة الحركية إلى طاقة كتلة سكون؛ وبذلك تكوَّنت جسيماتٌ لها كتلة أكبر. وفي خلال حالات التصادم المختلفة التي حدثت، ظهرت جسيماتٌ مختلفة. لكل جسيم منها كتلة سكونه المميِّزة التي تعمل على تمييزه على نحوٍ ملائم، رغم وجود اختلافات أخرى أقل وضوحًا. أتوقع أنه لم يعُد يوجد الآن أي جسيمَين هنا من الجسيمات ذات القدرة التفاعلية الكبرى لهما الكتلة نفسها. إن هذا ما يحدث في الحفل التنكُّري.»

مرةً أخرى أصبح صوته مُرتفعًا وهو يتوجَّه بحديثه للغرفة كلها: «انتهى الرقص الآن، من فضلكم احتشِدوا في خطوطكم الطيفية المناسبة.»

بناءً على طلبه بدأت الجسيمات المُحتشِدة في التجمُّع معًا في مجموعات متفرِّقة صغيرة، مُبعثَرة في جميع أنحاء الغرفة. رأت أليس أنها في الأغلب تجمَّعت في مجموعات من ثمانية جسيمات؛ ستة مرتَّبة في هيئة شكل سداسي خارجي واثنان معًا في المنتصَف. احتوت مجموعات قليلة على عشرة جسيمات في شكل مثلث، توجد أربعة جسيمات موزعة على طول قاعدته.

قال رئيس المراسم لأليس بصوتٍ منخفِض: «ها أنتِ ترين الجسيمات وهي مجتمعة في مجموعاتها المتماثِلة. هذه المجموعات هي تجمعاتٌ لجسيماتٍ لها جميعًا القيم نفسها لبعض الخصائص، مثل اللفِّ المغزلي، على سبيل المثال. لعلكِ ترَين أن ثمةَ تناسُقًا مدهشًا في التجمعات المختلفة كلها.» ثم أضاف قائلًا: «وهذا دليلٌ على وجود تشابه خفي تحت الجلد، أو بالأحرى تحت القناع. وربما تتعرَّفين على بعض أعضاء هذه المجموعة الأقرب إلينا.»

نظرت أليس نحو الجسيمات الثمانية بالقرب منها، ورأت أن الاثنين الواقفَين على الحافة العُلوية للنموذج السداسي الأضلاع كانا بروتونًا ونيوترونًا، إلا أن باقي أعضاء المجموعة كانوا مجهولين بالنسبة إليها.

قيل لها: «إن هذه مجموعة من الباريونات، وهي جميعها لها لف مغزلي مقداره نصف.» هذا لم يكن يعني أيَّ شيء على الإطلاق بالنسبة إلى أليس، لكنها في الوقت الحالي كانت مستعدةً تمامًا لتصديقه.

أضاف قائلًا: «أعتقد أنك قد قابلتِ بالفعل النيوترون والبروتون. في الصف الذي يليهما يوجد جسيم سيجما، الذي يمكنه التعامل بكلتا الشحنتَين الكهربيتَين الموجبة والسالبة، وكذلك بلا أي شحنة على الإطلاق؛ وعليه فإنه يظهر كما لو كان ثلاثة جسيمات مختلفة. وفي وسط النموذج يوجد لامدا أو لامبدا، وهو جسيمٌ مفرد بلا شحنة. وهذه جميعها جسيمات غريبة.»[١]

أيَّدت أليس كلامه وهي تَقترِب كي تنظر إليها عن قرب أكثر: «تبدو لي جميعها غريبة.»

«لا، لا؛ فالغرابة هي ببساطة خاصية تمتلكها جسيماتٌ معيَّنة، وهو ما يجعلها تحصُل على اسم غريبة.» ثم أضاف على نحوٍ غير مُفيد: «تمامًا مثل الشحنة الكهربية إلى حدٍّ ما، كما تعرفين، فيما عدا أن هذا أمر مختلف كليةً. الجسيمان المتبقيان كلاهما كاسكيد. وهذا النوع يأتي في حالتَين بشحنتَين مختلفتَين؛ ولهذا يُوجَد اثنان منه.» ثم أوضح لها: «إنه غريب بشكل مزدوَج، بالتأكيد.»

ردَّدت أليس المسكينة: «بالتأكيد.»

«والآن، الوقت يُداهمنا.» نادى فجأة بصوت مرتفع وواضح بحيث تردَّد صوته في جميع أرجاء الغرفة كلها. «والآن حان وقت خلعِ الأقنعة النهائي في أمسيتنا. السيدات والسادة أرجو منكم جميعًا ... خلع الأقنعة!»

لم تستطع أليس مطلقًا تحديد طريقة فعلهم لهذا بالضبط، لكن مظهر الجسيمات حولها من كل جانب تغيَّر. نظرت إلى الجسيم الأقرب إليها، والذي كان رئيس المراسم يُطلِق عليه اسم لامبدا. لم يعُد يبدو كجسيم، لكنه بدا مثل حقيبة من نوعٍ ما استطاعت أن ترى بداخلها ثلاثة أشكال. اقتربت أليس أكثر، تحاول تمييزها بوضوح أكثر، ثم شعرت بنفسها تُسحَب إلى داخل السياج. حاولت أن تسحب نفسها بعيدًا عنه، لكن على الرغم من جهودها وجدت نفسها تُمتصُّ نحو الداخل.

ما إن دخلت حتى اكتشفت أنه لا توجد مساحة كافية لها كي تقف. حاولت أن تهوي بركبتَيها على الأرض، لكن ظلت الحاوية تضغط عليها بشكل كبير، فحاولت أن ترقد بأحد مرفقَيها على الأرض بينما لفت الذراع الأخرى حول رأسها.

في هذا الوضع الصعب نظرت حولها وحدَّقت في الكيانات الثلاثة الضئيلة التي ألقت عليها نظرة خاطفة دون أن تَستوضِحَ معالَمها حين كانت في الخارج. والآن بعدما أصبح في استطاعتها أن تراها، لاحظت أنها مختلفة تمامًا عن أيٍّ من الجسيمات التي قابلتها حتى الآن؛ فقد كان كلٌّ منها ملونًا بدرجة لون مميزة. أحدهما كان أحمر وواحد أخضر وواحد أزرق. لاحظت أنها كانت متَّصلة بعضها ببعض بأطوال من كابل متعدد الألوان من نوع ما. كان هذا الكابل به العديد من الخطوط بثلاثة ألوان عادية وثلاثة ألوان مضادة قد رأتها على زي رئيس المراسم.

كانت أليس مُستغرِقة جدًّا في دراسة هذه الجسيمات الجديدة الغريبة، لدرجة أنها جفَلَت بشدة لسماعها صوتًا يصدر عن واحد منها.

قال لها: «إذا ظننتِ أننا صورٌ متحرِّكة، فعليكِ أن تدفعي، كما تعرفين؛ فالصور المتحرِّكة ليست مصنوعة كي يُنظَر إليها بلا مقابل ... كلا على الإطلاق!»

أضاف قائلًا: «وعلى العكس من هذا، إذا كنتِ تظنِّين أننا أحياء، فعليكِ إلقاء التحية ومصافحة أيدينا.»

صاحت أليس في ندم: «أنا آسفة!» وهي تمدُّ يدها ببعض الصعوبة. لا تدري تمامًا كيف حدث هذا، لكنها بطريقةٍ ما وجدت أنها تُمسِك بكرة مطاطية منتفِخة كبيرة لبوق سيارة قديمة بدلًا من وجود يد في يدها. وعندما ضغطت عليها صدر ضجيجُ صافِرة مرتفع.

سألته أليس، متضايقة قليلًا من هذه الحماقة: «حسنًا، مَنْ تكون إذن؟»

أجاب المتحدِّث باسم الجسيمات (الجسيم المتحدث باسمها جميعًا)، وهو يهز حاجبَيه لها بشدة: «نحن لا نحتاج لمقدمات؛ لذلك سوف أنجز هذا. نحن الكواركات الثلاثة الإخوة؛ أنا علوي وهذا سفلي وذلك هناك غريب» كان علوي أخضر اللون وسُفلي أحمر اللون وغريب أزرق اللون.

قالت أليس محاوَلة التخفيف من موقفِها المُحرج: «أرجو ألا تُمانعوا أن أنضم إليكم.»

أجابها علوي وهم يضحكون جميعًا في صخب: «لماذا؟ نحن لن ننفصل أبدًا.»

لم تكن أليس مُستمتِعة، ولم تَجِد هذه المزحة مضحكة جدًّا. في الحقيقة، حين أمعنت التفكير في الأمر، لم تكن متأكِّدة إن كانت قد وجدتها مُضحِكة بالأساس. نظرت نحو الإخوة الثلاثة في ضيق وصُدمت بحقيقة أن علويًّا الآن أصبح أحمر اللون وسفليًّا أخضر.

الكواركات هي أعرق الأشكال الأساسية المعروفة للمادة حتى الآن. فجميع الجسيمات المتفاعِلة بقوة عبارة عن مجموعات مرتبِطة بالكواركات. يتكوَّن كل فرميون من ثلاثة كواركات، وتتكون البوزونات من كوارك وكوارك مضاد مُرتبطين معًا. هذه الرابطة قوية للغاية، وهي مثل التفاعُل الكهربي، تحدث نتيجةً لتبادُل جسيمات افتراضية.

أعلنت أليس في نبرة فيها قليل من الاتهام: «لقد غيَّرتما لونَيكما.»

ردَّ علوي في هدوء: «هذا طبيعي؛ فنحن عادةً لا نَنتمي للونٍ معيَّن؛ فعندما بدأت كنت أخضر تمامًا، ثم شعرت بقليل من الزرقة، لكني الآن بدأت أرى اللون الأحمر.» ثم قال فجأة: «أنتِ تعرفين أن الجسيمات ذات الشحنات الكهربية تتبادَل الفوتونات؟»

ردَّت أليس: «نعم، أخبروني عن هذا.»

«حسنًا، نحن الكواركات شخصيات مُفعَمة بالألوان. نحن نَلتصِق بعضنا ببعض عن طريق تبادُل الجلونات في السراء والضراء، أو بالأحرى في حالات الأحمر والأخضر والأزرق. تحُوم الجلونات حولنا عندما ترى لون عملتنا؛ فهي تراقب لوننا. وتتبادَل جميع الجُسَيمات التي لها لون الجلونات. تعمل الجلونات على تماسكها معًا تمامًا مثلما تفعل الفوتونات للجسيمات التي لها شحنة.»

سألت أليس: «لكن لماذا تُغيِّرُون ألوانكم؟ فالجسيمات المشحونة لا تُغيِّر شحنتها الكهربية عندما تتبادَل الفوتونات.»

«كلا، ولكن الفوتونات ليس لها شحنة. لا توجد شحنة للفوتون، وهذا هو سبب رواجها. أما الجلونات فتَحمل لونًا بالفعل. عندما يهرب جلون ملوَّن من مصدره، تَنتقِل صبغته اللونية إلى الكوارك الذي يُمسِك به. إنه أمر يحدث بانتظامٍ يُمكنني أن أُؤكِّد لكِ هذا.» وبينما كان علوي يتكلَّم، تغيَّر لون سُفلي إلى الأزرق وأصبح غريب أحمر اللون، وأصبح شعره المجعَّد ذا ضيٍّ لونيٍّ زاهٍ.[٢]

أشار عُلوي إلى غريب وقال: «هناك، هذا مصدر لون مُختلِف!»

«ولأننا نَمتلِك هذه الجلونات الغنية بالألوان، لا يُمكن أبدًا فصلنا. الفرد من أجل الجميع، والجميع من أجل لا شيء. ومُتحِدون نقف ومُتفرِّقون نظلُّ غير منفصلين.»

اعترضَت أليس: «أخشى أنني لا أفهم ما تعنيه على الإطلاق.»

«حسنًا، نحن نعرف جميعًا أن الشحنات الكهربية المضادة تَنجذِب بعضها لبعض، لكن بإمكانك الفصل بين الجسيمات التي تُعاني من مثل هذا النوع من التجاذب. إنها تَرتبط بعضها ببعض عن طريق تبادل الفوتونات، لكن الفوتونات ليست لها شحنة.»

قال سُفلي فجأة: «إذا لم تكن تُوجد شحنة على الفوتونات فإنها تصبح حرة طليقة، تذهب حيثما تشاء.»

«صحيح، بسبب عدم وجود شحنة للفوتونات، فهي حرة، حرة كي تَنتشِر إلى أبعد ما تريد. إنها لا تتبادَل الفوتونات الأخرى فيما بينها.»

أضاف سُفلي: «إذا لم يكن يوجد تغيُّر ولم تكن توجد شحنة، فلن تحدث أي تعاملات. إنَّ هذه الفوتونات لا تَجري أي تعاملات تجارية معًا.»

«فدون وجود شحنة لا تجري الفوتونات الافتراضية أي تعامُل تجاري فيما بينها؛ ولهذا لا تجذب بعضها بعضًا، ولا يحصل أي أحد على شحنة منها؛ لذلك هي تَنتشِر في جميع أرجاء المكان. وكلما زاد تباعد شحنات المصدر، زادت المسافة التي على الفوتونات الانتشار فيها. تَنتشِر الفوتونات في هزال، فتُواجه الفوتونات فترة عصيبة في هذا، مع وجود زخم حركة لديها كي تنتقل.»

تداخَل سُفلي مساعدًا: «في آخر مهمَّة، حصلت على حوالة. قالوا لي إنهم سيُعطونني قليلًا من زخم الحركة، لكن كل ما أعطوني إياه كان حذاءً برقبة.»

ردَّ علوي: «وأنت شعرت بقوة حُجتهم، لكن مع قلة زخم الحركة الموجود لتعطيه، تصبح القوة أضعف؛ فعند سحب الشحنات بعضها بعيدًا عن بعض، تفقد الاتصال بينها، ويزداد ضعف قوة التجاذب، وفي النهاية تفقد كل أوجه الاتصال تمامًا لدرجة أنها قد تنسى حتى أن يكتب بعضها لبعض. امنحيها الطاقة الكافية ويُمكنك سحبها إلى أي مكان. ويُمكن أن تبتعد بعضها عن بعض كثيرًا بحيث لا يوجد أي تجاذب يُذكَر. تصبح الشحنات عندها مستقلة إلى حد ما. أظن أنكِ تعرفين ما المقصود بتعبير «شحنة مستقلَّة».» ثم أضاف قائلًا: «أو معنى «شحن شخص ما باستقلال»، فيما يتعلق بهذا الشأن.»

«لكن كفانا حديثًا عن الشحنات الكهربية، نحن هنا للحديث عن شحنات الكوارك.»

سألت أليس في فضول: «ما هي شحنة الكوارك؟» فهي دائمًا ما تكون متلهِّفة لتستوضِحَ أكبر قدر مُمكن من المعلومات.

أجابها سفلي: «إنها ضعف المعدَّل في عطلات نهاية الأسبوع وكذلك بالنسبة إلى الكواركات العلوية، لكنها رخيصة جدًّا؛ فشحناتنا ثلث شحنات الجسيمات الأخرى فقط.»

قالت أليس لسفلي: «هناك شيء واحد لا أفهمه.» (كان في عبارتها تبسيط كبير للواقع، حيث كانت توجد العديد من الأشياء التي لا تفهمها حتى الآن.) «لماذا تحاول التحدث كما لو كنت إيطاليًّا؟ لا أعتقد أنك إيطالي.»

> للعديد من الجُسَيمات شحنات كهربية، وإنها لحقيقة مُذهِلة أن الجُسَيمات المرصودة يكون لشحناتها جميعًا القدر نفسه. فلبعض الجسيمات شحنات موجبة وللبعض الآخر شحنات سالبة، لكن الكمية هي نفسها في كلتا الحالتَين. تُسمَّى هذه الكمية عادةً بشحنة الإلكترون؛ وهذا ببساطة لأنَّ الإلكترونات كانت أول الجسيمات المكتشَفة. ولكي يتسنَّى تقدير الشحنات التي تَمتلكُها الكواركات لا بد أن تكون مختلفة. قد تكون للكوارك شحنة موجبة، تُقدَّر بثلثَي حجم شحنة الإلكترون، أو قد تكون له شحنة سالبة تُساوي ثلث شحنة الإلكترون. ولا يُمكن رصد هذه الشحنات الجزئية مباشَرةً؛ لأن الكواركات لا يُمكن أن تترك مجموعاتها المرتبِطة بها، لكن ثمة دليل قوي على صحتها.

ردَّ علوي بالنيابة عنه: «هذا لأنه فرميون. وكان إنريكو فيرمي إيطاليًّا.»

اعترضَت أليس وقالت: «لكن ألستم جميعًا فرميونات؟»

«بكل تأكيد، الفرد من أجل الجميع والجميع من أجل باولي. وهذا ما لا يستطيع أحدٌ إنكاره.» وقفت الكواركات الثلاثة «انتباه»، وأدَّت التحية العسكرية.

«نحن مجموعة واحدة غير قابلة للتَّجزئة. لا يستطيع الكوارك الهروب من داخل البروتون أو من داخل أي جسيم آخر؛ هذا كله بسبب اللون الأحمر والأخضر والأزرق. ثمةَ مجدٌ قديم لكِ.»

شرعت أليس في الحديث: «معذرة؟»

أجابها علوي: «عفاكِ الله!» لكن أليس أكملتِ في إصرار.

«لا أعرف ما الذي تَعنيه بالمجد.»

«بالتأكيد أنتِ لا تعرفين حتَّى أخبركِ. لقد قصدت أن ثمة حجة لطيفة قوية في انتظارك!»

احتجَّت أليس وقالت: «لكن كلمة المجد لا تعني هذا.»

«عندما أستخدم كلمة، فهي تعني فقط ما أختاره لها لتعنيه، لا أكثر ولا أقل. السؤال هنا هو من الذي يُسيطِر على هذا كله.» ثم أضاف في عبوس: «لكن الأمر مُختلِف

مع الجلونات، فلا سبيل للسيطرة عليها؛ فهي لا تتخلَّى عما تتمسَّك به أبدًا، على عكس الفوتونات. المشكلة أن الجلونات كلها ملوَّنة، واللون يخلق الجلونات تمامًا مثلما تَخلق الشحنة الفوتونات؛ ولهذا فإن جميع الجلونات تُطلِق جلونات أخرى، وتلك الجلونات تُصدِر المزيد من الجلونات. فأنتِ تبدئين بواحد أو اثنين وتنتهين بمئات. إن الأمر أشبه بأن يحظى المرء بإقامة عائلة زوجته معه. ولأنها جميعًا تتبادل الجلونات، تَلتصِق جميعها بعضها ببعض، بالضبط مثل عائلة الزوجة. فبدلًا من الانتشار في سحابة ضبابية واسعة كالفوتونات، تتجمَّع في حزم لتكوِّن أوتارًا ملوَّنة متماسِكة من جلونات افتراضية ترَينها هنا. ولأنها تتجمَّع في حزم، لا تكون لديها حرية الانتشار مثل الفوتونات، فلا توجد حزم حرة.»

يَسمح وجودُ ثلاثة أنواعٍ مختلفة من الألوان بتلوُّن الجلونات أيضًا. فكلُّ جلونٍ هو مزيجٌ من اللون واللون المضاد. ومع وجود البروتونات، فإن مزيجًا من الشحنة والشحنة المضادة يُنتِج جسيمًا عديمَ الشحنة. أما الجلونات، فيُمكنها أن تمزج بين ألوانٍ مختلفة؛ فقد يكون الجلون الواحد — على سبيل المثال — عبارة عن اللون الأزرق واللون الأخضر المضاد. ومثلُ هذا الجلون لا يكون محايدًا؛ فهو يحمل لونًا ومن ثمَّ يمكنه العمل كمصدرٍ للجلونات الأخرى. وهذا يعني أن الجلونات أيضًا يرتبط أحدُها بالآخر وتُكوِّن خيوطًا رفيعة تربط الكواركات معًا، بدلًا من أن توزِّعها على نطاقٍ واسع مثلما تفعل الفوتونات.

«عندما يتحرَّك أحد الكواركات مُبتعدًا فإنه سرعان ما يصل إلى نهاية حبل رسنه. وإذا كانت لدينا طاقة أكثر فإن الجلونات سوف تمنحنا المزيد من الحبال، ولكننا ما زلنا متشبِّثين بنهايته. ومهما ابتعدنا في تجولنا، فإن جذب الجلونات يَسحبنا إلى مكاننا مرةً أخرى. لا يُمكننا كسر القيد والتحرر منه، لكن ما زال في إمكاننا الهرب بقليل من المساعدة من أصدقائنا.»

في تلك اللحظة المناسبة على نحو فريد، اصطدم فوتون له طاقة عالية جدًّا بالمجموعة الصغيرة من الكواركات. لم تتلقَّ أليس أي تحذير؛ إذ إنها لم ترَه وهو قادم. في الحقيقة، باتت تدرك الآن أن الفوتونات تتحرك بسرعة كبيرة جدًّا، حتى إنها لم ترَ أحدها قادمًا حتى الآن قبل وصوله إليها أبدًا. اصطدم هذا الفوتون بغريب، فاستثاره إلى حالة من الجنون الهستيري التام، ثم اندفع غريب مبتعدًا وقد أصدر صوت صفير مرتفعًا عبر بوق. ومِن خلفه امتد حبل الرسن مشدودًا أبعد فأبعد. استطاعت أليس أن ترى أنه

مهما كانت المسافة التي يمتد عبرها الحبل، فإنه لم يُصبح بأي حال من الأحوال أرفع أو أضعف. كان من الواضح أنه من الممكن أن يستمر في التمدُّد إلى ما لا نهاية، وعليه فإن هذا الكوارك الهارب سوف تنفد طاقته قريبًا، بلا أي فرصة في كسر القيد والتحرُّر، لكن لم تكد أليس تصل لهذا الاستنتاج حتى ... انقطع الحبل!

قبل لحظة من حدوث هذا، كان ثمة حبل طويل يزداد تمددًا باستمرار، وكان يمتص كل الطاقة التي أحضرها الفوتون، والآن أصبح يوجد حبلان قصيران جدًّا، ثمة فجوة كبيرة بينهما تتسع باستمرار. وعلى كلا جانبَي هذا الصدع ظهر كوارك جديد، كلٌّ منهما يتشبث بواحدة من النهايتين المقطوعتين من الحبل. وفي نهاية الحبل التي كانت ما زالت معلَّقة بالكواركَين اللذين بقيا مع أليس، كان ثمة كوارك يبدو مثل سفلي فيما عدا أن لونه كان مختلفًا. كان الكوارك غريب سريع الانحسار يجرُّ خلفه حبلَه القصير، والذي كانت تتعلَّق به نسخة عكسية من سُفلي. افترضت أليس على نحوٍ صائب أن هذا كان كواركًا مضادًّا. سألت أليس بنوع من الارتباك: «ما الذي حدث؟»

«لقد رأيتِ للتو هروب كوارك بمساعدة من أصدقائه في الأماكن الدنيا. في الفراغ في الحقيقة؛ إذ لا يُمكِن التدنِّي أكثر من هذا، فلا يُمكِن فصل خيط جلون طالَما أنه رأى لون كوارك؛ لذلك علينا أن نخدعه بشيء يُشبِه الكوارك بالضبط.»

سألت أليس: «وما هو هذا الشيء؟»

«كوارك آخر، بالطبع. عندما يتمدَّد خيط الجلون طويلًا بما يَكفي بحيث أصبح الآن يَحتوي على طاقة كافية لخلق كتل السكون لكواركَين، فإننا عندها نقطع الخيط ونُفعِّل التبادُل، فتَحصل إحدى النهايتَين على كوارك جديد والأخرى على شيء ليس كواركًا.»

سأل سفلي (أحد الاثنَين اللذَين لهما اسم سُفلي): «توجد عقدة في الخيط؟»

«هذا صحيح، ثمَّة كوارك عند إحدى النهايتَين، وشيء ليس كواركًا عند النهاية الأخرى.»

سألت أليس: «ما هذا الشيء الذي ليس كواركًا؟»

«إنه كوارك مُضاد. وإذا أردتِ تصديق هذا، فعليكِ رؤية عمي. فقد اختفى جزء من الخيط الأساسي سريعًا مع بعد المسافة؛ مما أدى إلى حَمْل الطاقة بعيدًا وربط غريب الغائب بالكوارك المضاد الجديد؛ لذلك كما ترَين فإن الغياب يجعل الجزء يبتعد كثيرًا.»

احتجَّت أليس: «ربما يكون قد هرب، لكنه ما زال ليس حرًّا.»

«حين كان مربوطًا كان حرًّا. أما الآن فقد تحرَّر منا، ولكنه ما زال مربوطًا، ومع الكوارك المضاد هو مربوط في بوزون الآن. يُشبِه هذا البايون، لكن البايونات قد تكون

خادعة، وفي هذه الحالة تكون قد كوَّنت كايونًا بدلًا من هذا. إن ما تشاهدينه ليس كواركًا حرًّا أو حتى بحرًا من الكواركات الحرة، لكنه مجرَّد وضع آخر محرج.»

سأل سفلي: «هل ثمة أسماك في بحر الكواركات؟»

«كلا، فلا وجود لأي أسماك في بحر الكواركات، لا شك في ذلك. إن غرض بحر الكواركات الوحيد هو احتواء أزواج الكواركات، والكواركات المضادة الافتراضية.»

جادله سفلي فقال: «أفهم كلمة الوحيد، والغرض أفهمه لكن ما علاقة الكواركات بالبحر.»

أجاب علوي: «انسَ أمر البحر، وإلا فإننا جميعًا سنصبح مشوشي الذهن ونحيد عن الموضوع الأصلي. الفكرة كلُّها أنك لن تجد أبدًا كواركًا بمفردِه.»[٣]

سألت أليس في اهتمام وقلق: «هل يعني هذا أن عليكَ أن تبقى هنا إلى الأبد بلا أي فرصة للتغيير؟»

«حسنًا، يمكننا أن نحظى بتغيير بكل تأكيد. إنهم يقولون إن التغيير جيد تمامًا مثل السكون، لكني أشعر بحرية كبيرة عند مناقشة التفاعل الضعيف.»

«لقد سمعت عن هذا عندما كنت في زيارة للنواة. أعتقد أن له علاقة ما بتحلل بيتا للأنوية، أيًّا كان هذا.»

«إنه الشيء نفسه. بل إنه، في الحقيقة، متعلِّق بالبيتا بقدر أكبر بكثير. ما يحدث هو أن النيوترون داخل النواة يتغير إلى بروتون وإلكترون، بالإضافة إلى جسيم آخر يُدعى نيوترينو. هذا النيوترينو عديم الشحنة، وعديم الكتلة، وليس له تفاعُل قوي. في الواقع هو لا يفعل أشياء كثيرة، مثل أغلب من أعرفهم. وهكذا يقال على أيِّ حال. أما ما يحدث في الحقيقة فيتلخص في أن كواركًا سفليًّا داخل النيوترون يتحوَّل إلى كوارك علوي وإلكترون ونيوترينو، وعندما يتغيَّر الكوارك السُّفلي إلى كوارك علوي فإن كل شيء يسير على ما يرام. فهذا يرفع الشحنة، ويُصبح النيوترون بروتونًا، وهكذا. يُمكنك التجول في الأرجاء وربما يُحالفك الحظ.»

لم يكد يتكلَّم عندما حدث بمصادفة مواتية تمامًا أن أصبح واحد من الاثنين اللذين يحملان اسم سفلي مشوشًا، وبدأ يتغير ويفقد هويته. وبعد لحظة عابرة من التحول، لم يَعُد سفلي موجودًا، ووقفت في مكانه نسخةٌ طبق الأصل من علوي. عندما تحرَّك جانبًا رأت أليس إلكترونًا يندفع مبتعدًا من المكان نفسه، وتبعه في هذا جسيم آخر. لم ترَ أليس إلا لمحة موجزة من هذا الجسيم، هو شيء بالكاد يُدرَك، ومن العسير جدًّا رؤيته. افترضت

أليس أن هذا قد يكون النيوترينو، الذي يؤدِّي دوره المعتاد في تجاهل الجميع وفي أن يتجاهله الجميع.

أصبحت هذه المجموعة من الكواركات الثلاثة تتكوَّن من واحد سفلي واثنين علوي مُتماثلَين. وعلى الرغم من كونهما متماثلَين، فقد كان في الحقيقة أحدهما في هذه اللحظة أخضر اللون والآخر أزرق. قالت أليس: «يا إلهي، إن هذا الأمر برمَّته مدهش للغاية.»

ردَّ الاثنان علوي في إذعانٍ وفي صوت واحد وتَوافُق مثالي: «كان هذا الأمر مدهشًا للغاية.»

ثم أضافا: «لكن ما الذي كنت تتوقعينه عندما يكون لدى الجسيمات المتبادلة في تفاعل شحنة كهربية؟ الفوتونات ليست لديها شحنة، ولكن هذه ليست كعملية هجوم اللواء الخفيف التي شنَّتها القوات البريطانية. فعندما يطلق مصدر أحد هذه الجسيمات المشحونة، فإن عليه أن يشارك الشحنة. وغير مسموح بالتذبذبات هناك، كما تعرفين. فعندما تتغير الشحنة الكهربية لجسيم فإنه يُعَد جسيمًا مختلفًا. لا بد أنكِ سمعت عن حسابات الشحنات، فهذه هي الطريق التي نتغير بها نحن معشر الكواركات.»

سألت أليس التي شعرت أن الشرح كان ناقصًا بعض الشيء: «لكن من أين جاء هذا الإلكترون؟»

بدأ علوي الحديث على نحو غير ذي صلة بالموضوع بعض الشيء: «إن الجسيمات المتبادلة في التفاعلات الضعيفة تُدعى دبليو.»

قاطعته أليس، وقد نسيت آداب السلوك التي شبَّت عليها، قائلةً: «ماذا؟»

«لا ليس «ماذا» بل دبليو فقط. إنه ليس بالاسم الجيد، لكنه كل ما لديها، يا لها من أشياء مسكينة. ولمعلوماتك يوجد اثنان منها، أحدهما دبليو موجب والآخر دبليو سالب. ولم يسألهما أحد قط ما الذي يرمز إليه حرف دبليو.» هكذا أنهى حديثه متأملًا ثم واصل الكلام مرةً أخرى: «على أي حال، فإن هذه الدبليو كما يُطلِق عليها أصدقاؤها، هي أنواع ودودة للغاية؛ فهي تمتزِج مع أي أحد، وتتفاعَل مع كلٍّ من اللبتونات والهادرونات، ومع الإلكترونات، وكذلك مع الجسيمات ذات التفاعل القوي؛ ولذلك عندما يُقرِّر كوارك سفلي أنه قد حان الوقت ليتغير إلى كوارك علوي، فلا بد من تزويده بالشحنات، فتزيد الشحنة الكهربائية للكوارك؛ ولهذا يخرج جسيم دبليو سالب ليُوازن الحسابات. وبدَوره يلعب الجسيم دبليو هذا دوره كما ينصُّ الكتاب، ويتفاعل مع نيوترينو مار، ليس له أي شحنة على الإطلاق، ويُحوِّله بذلك إلى إلكترون يَمتلك شحنة كهربية. يجد الإلكترون نفسه

بصحبة كثير من الجسيمات ذات قوة تفاعلية شديدة، حيث لا يحقُّ له الوجود، ويُغادِر بأسرع ما يمكنه.»[٤]

سألت أليس ببعض الارتباك: «لكن أين يجد دبليو نيوترينو يُمكنه تحويله إلى إلكترون؟ لم أكن أعتقد أنه يُوجد نيوترينو من قبل. لقد اعتقدتُ أنه قد أُطلق بعد عملية التحلُّل، مع الإلكترون.»

«آه حسنًا، هذه هي النقطة الخادعة؛ فأنتِ تظنِّين أنه يجب أن يكون موجودًا مسبقًا، لكنه بدلًا من ذلك ظهر بعد العملية وليس قبلها؛ فأنتِ تتوقعين أن يصل من الماضي، لكنه فاجأك مُتسللًا عائدًا من المستقبل، ويظلُّ يصل عند وقت الحاجة إليه تمامًا. وبالطبع بما أنه قد جاء من المستقبل، فهو يبقى في الأرجاء بعد ذلك، في طريق وصوله؛ وبهذه الطريقة ينتهي به الحال إلى أن يصبح هو نفسه النيوترينو الذي تحوَّل على يد الدبليو، وكذلك الإلكترون الذي أُطلق بعد التحلل. وهذا يقلل من النفقات الإضافية.»

سألت أليس: «لكن كيف له أن يصل من المستقبل؟» وبينما هي تتكلم كان يخالجها شعور واضح بأنها بالفعل تعرف إجابة هذا السؤال.

«إنه النيوترنيو المضاد بالتأكيد، وهو أحد الكيانات المضادة المفضَّلة عندي. لكل جسيم جسيمُه المضاد، الذي يسافر في الزمن للوراء؛ وهو بهذا يُصبح عكسه من جميع النواحي. وهذا هو المبدأ العظيم للجسيمات المضادة «أيًّا ما كان هو، فأنا عكسه».»

سألت أليس كي تكون متأكِّدة تمامًا من هذه النقطة: «ولا توجد أي طريقة يُمكن لأيٍّ منكم التحرُّر بها أبدًا؟»

أكدوا لها: «لا، لا سبيل إلى ذلك على الإطلاق.»

سألت أليس في رعب؛ إذ إنها لم تكن ترغب في أن تبقى حبيسة معهم للأبد: «هل يعني هذا أني لا أستطيع الهرب أيضًا؟» «كلا، على الإطلاق، فأنتِ ليس لديك لون؛ ومن ثمَّ فالجلونات لن تتمسك بك. فأنتِ واحدة من أكثر الناس غير الملونة التي قابلناها على الإطلاق؛ لذلك لا شيء يُبقيك هنا، يمكنكِ أن تغادري في أي حين تشائين، ونحن حتى لن نلاحظ. يمكنكِ أن تنهضي وتذهبي بعيدًا، فقط، لا تنسَي أن تتركي إكرامية.»

بدا هذا بسيطًا للغاية، لكن أليس أقدمت على تجربته على أي حال، فوقفت ووجدت حقًّا أنه لا شيء يمنعها من مغادرة الجَمْع في أي وقت. مطَّت جسدها ومدَّدته بعد حبسها في مثل هذا المكان الضيق، نظرت حولها ووجدت نفسها واقفة أمام قناع رئيس المراسم. كان قناعه المبتسم في تشنج على بعد بضعة أقدام فقط من وجهها. حدَّقت فيه، وهي

مذهولة من ابتسامته المتشنِّجة الواسعة الثابتة وفجوتَي العينَين الداكنتَين أعلاها. عميقًا في أعماقهما المظلمة السوداء حيث يجب أن تكون عيناه موجودتين، اعتقدت أنها تستطيع أن ترى وميضًا أزرق شديد الزرقة، مثل نجمة بعيدة في ليلة صافية شديدة البرودة.

سألها في مرح: «وكيف استمتعتِ بلقائكِ مع الكواركات؟»

ردَّت في صدق: «كان مثيرًا للغاية. إنها شخصيات نابضة بالحيوية ومفعمة بالألوان، لكني وجدتها متقلِّبة مُتغيِّرة إلى حد ما.»

واصلت أليس حديثها: «هل كان هذا آخر نزع للأقنعة يحدث هذه الليلة؟ أم إن ثمة المزيد من الطبقات التي لا بد من إزالتها قبل أن أستطيع رؤية الموجود بالفعل وراء كل هذا؟»

ردَّ عليها: «من يستطيع أن يَجزم؟ كيف يُمكنكِ أن تعرفي حقًّا إن كنتِ تطلعين على وجه الطبيعة الحقيقي دون أي تجميل، أم أنكِ تَنظرين ببساطة إلى قناع آخر؟ مع ذلك فإن الليلة لم يعدْ في الأفق إلا نزعٌ أخير للأقنعة. ما زال عليَّ أن أزيح قناعي الخاص.»

في أثناء حديثه بدأت بقعة الضوء الساطعة التي كانت تتبعه في كل مكان طوال الأمسية في الخفوت، وأصبح حتى الضوء القادم من الثريات فوق رأسه أكثر شحوبًا مما كان في السابق. ومع تلاشي الضوء رفع رئيس المراسم كلتا يدَيه إلى وجهه وببطء نزع قناعه.

نظرت أليس إلى الوجه خلف القناع في الضوء الآخذ في الخفوت سريعًا. لم تستطع أن ترى أي شيء بخلاف هيئة بيضاوية ملساء، خالية تمامًا، بلا أي ملامح من أي نوعٍ يُمكن تمييزها. حدَّقت في دهشة في هذا الوجه المحيِّر، ومع آخر شعاع للضوء قبل أن يختفي تمامًا رأت القناع يغمز لها.

هوامش

(١) تُعَد البروتونات والنيوترونات التي تسكُن النواة (المعروفة معًا باسم النيوكليونات) أمثلة على الجسيمات ذات التفاعل القوي، المعروفة أيضًا باسم الهادرونات. ثمة العديد من الهادرونات الأخرى، وإن لم تكن جميع الجسيمات تتفاعَل بقوة. فلا تشعر فئة الجسيمات المعروفة باللبتونات بالتفاعُل القوي على الإطلاق. تنتمي الإلكترونات إلى هذه الفئة؛ ولهذا فهي لا ترتبط داخل النواة بالنيوكليونات. إنها لا تشعر بالنواة إلا بوصفها شحنة كهربية موجبة تربطها بتراخٍ داخل الذرة.

أسفرت التجارب التي أُجريت في فيزياء الجسيمات ذات الطاقة العالية عن اكتشاف مئات الجسيمات ذات التفاعل القوي. يمثِّل هذا الوضع سيناريو معتادًا تمامًا في الفيزياء؛ فمتى احتوت فئة على عدد كبير جدًّا من الأعضاء، فعادةً ما يتضح أنها مبنية كمركبات من شيء ما أساسي بشكل أكبر. وجميع المركبات الكيميائية المختلفة المتعارف عليها تتكوَّن من ذرات. وثمة ٩٢ نوعًا مختلفًا من الذرات المستقرَّة الموجودة طبيعيًّا، وجميعها تتكوَّن من إلكترونات مرتَّبة بأعداد متفاوِتة حول نواة مركزية. والأنوية بدورها تتكوَّن من نيوترونات وبروتونات ترتبط بعضها ببعض عبر تبادل البيونات. وقد ذكرتْ هذه في الفصل السابق. اكتُشِفَ الآن أن النيوترونات والبروتونات أعضاء في فئة بها مئات الجسيمات الأخرى، مثل: K وρ وω وΛ وΣ وΞ وΩ وΔ وهكذا. وقد تبيَّن الآن أن جميع هذه الجسيمات تتكوَّن من كواركات.

(٢) تظلُّ الكواركات مُتماسِكة معًا بقوًى تُماثل — لكنها لا تشبه — التفاعُلات الكهربية. لا تعمل هذه القوى على أساس الشحنة الكهربية، ولكن على أساس شيء آخر يُدعى شحنة اللون أو اللون فقط. هذا لا علاقة له باللون كما نعرفه جميعًا، إنه فقط اسم مُنحَ لشيء جديد تمامًا. وربما يكون من غير الملائم أن كلمة لون مُستخدَمةٌ بالفعل في سياقات أخرى، إلا أنها ليسَت المرة الأولى التي يكون فيها لكلمةٍ معنيان مختلفان.

يرجع التفاعل بين جسيمَين مشحونَين كهربيًّا إلى تبادل الفوتونات الافتراضية فيما بينهما. أما التفاعل بين الكواركات فينشأ عن تبادل فئة جديدة من الجسيمات، أُطلق عليها اسم الجلونات. وثمة اختلافات بين التفاعلَين؛ فالشحنات الكهربية لا تأتي إلا في صورتَين فقط، موجبة وسالبة، أو شحنة وشحنة مضادة. والفوتونات التي يَجري تبادلها بين الشحنات الكهربية هي نفسها شحنتها الكهربية مُحايدة؛ فهي لا تحمل أي شحنة؛ وعلى ذلك لا تُطلِق المزيد من الفوتونات الافتراضية في حدِّ ذاتها.

إنَّ الجلونات التي يجري تبادلها بين الكواركات يُطلِقها نوع من الشحنات تحمله الكواركات، لكنه مختلف تمامًا عن الشحنة الكهربية العادية. تُسمَّى هذه الشحنة بشحنة اللون أو الشحنة اللونية، مع أنها ليس لها أي علاقة من قريب أو بعيد بالألوان التي نراها. وبينما يُوجَد نوع واحد فقط من الشحنات الكهربية، فإن هذا النوع الجديد من الشحنات بالإضافة إلى شحنته العكسية أو المضادة، تُوجَد منه ثلاثة أنواع مختلفة من الشحنات تحمل أسماء أزرق وأخضر وأحمر. ومرةً أخرى، يجب التأكيد على أن هذه الأسماء أسماء شَكلية ولا علاقة على الإطلاق بالألوان المعتادة. ومع كل شحنة لون يوجد

لون مضاد، وثمة طريقتان للحصول على جسم محايد اللون. في حالة الشحنة الكهربية لا يُمكنك الحصول على جسم محايد كهربيًّا إلا بالجمع بين الشحنة والشحنة المضادة (شحنة موجبة وشحنة سالبة). ثمة طريقتان للحصول على جسيمات محايدة لونيًّا: إما بالجمع بين اللون واللَّون المضاد (كما في البوزونات)، أو بالجمع بين الألوان الثلاثة للكواركات جميعها (كما في الفرميونات).

(٣) عندما تكون الجُسيمات مرتبطة معًا بتفاعل كهربي، فإن طاقة الجهد في الرابطة تتناقص سريعًا مع تحرك الجسيمات مُبتعِدة بعضها عن بعض. إنْ حصل جسيم ما على طاقة كافية، فبإمكانه أن يكسر القيد ويتحرَّر تمامًا، كمكوك فضائي قد بلغ سرعة الإفلات؛ ومن ثَمَّ تصبح لديه الطاقة الكافية كي يكسر القيد ويتحرر من طاقة الوضع الأرضية. ومع ذلك عندما يتمدَّد خيط الجلون بالفعل، فإن تمدده على نحو أكثر قليلًا يتطلب القدر نفسه من الطاقة التي حصل عليها عند تمدده في البداية؛ فالأمر يُشبِه تمدُّد خيط مرن؛ فالأمر لا يصبح أكثر سهولة بأي حال مع استمرار تمدده، وهو أيضًا يُشبِه الخيط المرن في أنك حين تمدِّده، فإنه قد ينقطع.

خيط الجلون لديه القدرة على امتصاص المزيد والمزيد من الطاقة مع انفصال الكواركات وتمدُّد الخيط. في النهاية تزداد الطاقة في الخيط عن القدر اللازم لإنتاج زوج من الكوارك والكوارك المضاد. فينقطع الخيط وينتهي طرفاه عند الشحنتَين اللونيتَين للكوارك والكوارك المضاد الجديدَين. فبدلًا من نظام الترابط الأصلي للكواركات الثلاثة، يوجد الآن نظامان مُنفصِلان؛ واحد من ثلاثة كواركات وواحد من كوارك وكوارك مضاد. وبدلًا من إطلاق كوارك حر فقد أنتجت الطاقة جسيمًا جديدًا، وهو البوزون. هذا يحدث دائمًا ولا تُنتج الكواركات الحرة أبدًا.

(٤) على الرغم من أن الكواركات لا يُمكنها الإفلات من الجسيمات التي تكون مترابطة بداخلها، فإنها تستطيع التغيُّر من نوع إلى آخر. ويرجع هذا إلى عملية خاصة تُعرَف باسم التفاعل الضعيف. والتفاعُل الضعيف هو عملية واسعة الأفق تتفاعل فعليًّا مع كل شيء. يؤثِّر التفاعل الكهرومغناطيسي فقط في الجسيمات التي لها شحنة كهربية، ويؤثر التفاعل القوي فقط في الجسيمات ذات القوة التفاعلية الكبيرة (أو الهادرونات) وليس اللبتونات. أما التفاعل الضعيف فيؤثِّر فيها جميعًا، بيدَ أن التأثير يكون بطيئًا إلى حدٍّ ما وضعيفًا لأنه تفاعل ضعيف.

إن التفاعل الضعيف متميِّز في كونه قادرًا على تغيير الكواركات. يمكنه تغيير الكوارك السفلي أو الكوارك الغريب إلى كوارك علوي. وفي خضم هذه العملية، تتغير

الشحنة الكهربية للكوارك، ويحمل «بوزون دبليو» الشحنة الزائدة ويأخذها بعيدًا، وهو نوع من الجسيمات يجري مبادلتها في التفاعل الضعيف. يمكن بعد ذلك تمرير هذه الشحنة إلى اللبتونات المصنوعة حديثًا، وهما إلكترون ولبتون محايد كهربيًّا عديم الكتلة يُعرَف باسم مضاد النيوترينو. يحدث هذا في عملية تحلُّل بيتا النووي، الذي تُطلِق فيه نواة نشطة إشعاعيًّا إلكترونًا سريعًا. عُرفت هذه العملية منذ سنوات عديدة، ولكنها كانت غريبة وشاذة؛ إذ كان من الواضح عدم وجود أي إلكترونات متاحة داخل النواة كي تُطلَق على هذا النحو. يحدث إنتاج الإلكترون في عملية التحلُّل نفسها، ولأنه غير مقيَّد وغير مرتبط بأي شيء، فإنه يغادر النواة في الحال.

الفصل العاشر

مدينة ألعاب الفيزياء التجريبية

انقشع الظلام ببطء من حول أليس. بعد غياب الظلال عن عينَيها، وفي الحال انبهرت بفوضى الأضواء البراقة والألوان، وفي اللحظة نفسها هاجم أذنَيها مزيجٌ من الأصوات العالية والمتنافرة. نظرت حولها ووجدت نفسها في منتصف حشد من أناس شتى يمرحون. بدا أن جميع أصناف الناس حاضرون، ويرتدُون جميع أنواع الملابس. استطاعت أن ترى أن بعضهم كان يرتدي معاطف بيضاء، مثل تلك التي قد يُخيَّل للمرء أن العلماء يرتدونها في مُختبَراتهم، بينما كان ثمة آخرون في هذا الحشد يرتدون ملابس عادية جدًّا غير رسمية، وآخرون يرتدون بذلات رسمية. استطاعت أن ترى أزياءً من كل أنحاء العالم ومن حقب عديدة في الماضي أيضًا.

كان ثمة رجال يرتدون سترات مشقوقة الذيل من العصر الفيكتوري، لهم سوالف كثيفة الشعر، وآخرون يرتدون الرداء التقليدي لدول المغرب العربي، أو الزي الصيني التقليدي ذا الأكمام الفضفاضة وضفائر الشعر الطويلة. رأت أحد الأفراد له شعر كثيف على نحوٍ استثنائي، سار أمامها متمايلًا وهو يرتدي زيًّا من جلود الحيوانات غير المعالجة، ويحمل ما بدا إلى حدٍّ ما كعجلة مصنوعة دون إتقان، بدت وكأنها منحوتة من الحجر، وعلى أحد جوانب العجلة نُقش في إتقان بالإزميل: «براءة الاختراع قيد المعالجة.» لفتَ رجلٌ واحد اهتمامها على وجه خاص لسبب معيَّن؛ فقد استشعرت وجود شيء مميِّز فيه دون أن تستطيع بالضبط تحديد ماهيته. كان له وجه شاحب وحادٌّ، وكان يرتدي بنطالًا قصيرًا وضيقًا وصدرة ومعطفًا طويلًا مشقوق الذيل يعود إلى القرن السابع عشر. كان يمشي شارد الذهن، يقضم قضمةً كبيرة من تفاحة حمراء زاهية اللون.

تساءَلت في صوتٍ عالٍ، لكنها لم تكن تتوقَّع أن يلاحظها أحد في خضم هذا الصخب الشديد من حولها: «أين أنا؟»

جاءتها إجابة غير متوقَّعة: «إنكِ في مدينة ألعاب الفيزياء التجريبية.» نظرت أليس حولها لترى مَن المتحدِّث، ووجدت نفسها مرةً أخرى في صحبة ميكانيكي الكَم الذي كان يسير في هدوء بجوارها. أشار نحو لافتة معلَّقة فوق بوابة من الواضح أنهما قد دخلا منها للتو. كانت اللافتة تحمل الشعار:

مدينة ألعاب الفيزياء التجريبية.

علَّقت أليس عليها قائلة: «يبدو اسمًا مثيرًا إلى حدٍّ ما.» فقد كان هذا أول شيء لفت انتباهها في اللافتة.

«حسنًا، ماذا تتوقَّعين؟ فجميعهم هنا علماء كما تعرفين، وهذا هو أكبر مهرجان للرصد التجريبي. ستجدين هنا الكثير من العروض التجريبية للظواهر الفيزيائية وعروض جانبية للنتائج التجريبية.»

حدَّقت أليس حولها ورأت تنوعًا باهرًا من الخيام والأكشاك، تتناثر فيما بينها مبانٍ أكثر رسوخًا هنا وهناك، تحمل جميعها ملصقات ملوَّنة برَّاقة، تتنافس فيما بينها على جذب انتباه الحشد. قرأت القليل منها:

استمتع بالعرض المُثير لتصادمات الجسيمات.

اصطدِ النيوترينو.

اهزم كواركًا وفُز بجائزة نوبل.

كان ثمة شغب من نوعٍ ما في الحشد القريب منهما. نظرت أليس نحوه لترى رجلًا أصلع مُلتحيًا ملفوفًا فيما يُشبِه منشفة استحمام بيضاء كبيرة. كان يشقُّ طريقه في الزحام مُتدافعًا بكتفَيه، يعوق حركتَه حملُه للوحة إعلانات كبيرة في إحدى يدَيه، وعمود طويل على نحوٍ لا يمكن تصوره، أو رافعة من نوعٍ ما في يده الأخرى. أمعنت النظر بعناية في الإعلان الذي كان يحمله، على قمته طُبِع دون إتقان ما استطاعت بالكاد أن تفك طلاسمه:

أشعُر بالأرض تتحرَّك!

ثم قرأت تحت الكلمات المشطوبة هذه الرسالة المعدَّلة:

انظروا إليَّ وأنا أحرِّك العالم!

سألت أليس: «من هذا الشخص؟ وما الذي يُخطِّط لفعله؟»

«آه، إنه فيلسوف يوناني معروف للغاية، ومن الواضح أنه ينوي الشروع في نشاطه الروتيني العتيق لتحريك العالم.»

صاحت أليس: «حقًّا؟ هل يحرِّك العالم في المعتاد إذن؟»

«آه، كلا، هو لم يفعل أبدًا؛ فهو لم يستطع أن يجد مكانًا ثابتًا ليقف عليه وهو يستخدم رافعتَه، كما ترين.»

لم يبدُ أن هذا قد وفَّر لأليس الكثير من التسلية في هذا الوقت؛ ولهذا نظرت حولها بحثًا عن شيء أكثر تبشيرًا. جذب انتباهَها كشكٌ في الجوار، حمل اسم «قاعدة كهروضوئية». كان ثمة مسدَّس نمَطيٌّ عن طريقه يستطيع اللاعب توجيه شعاع الضوء على سطح معدني. يسبِّب الضوء انبعاث الإلكترونات من المكان الذي يُصيبه. والفكرة كما شرحها الموجود داخل الكشك تكمن في تحريك الإلكترونات لمسافة قصيرة نحو دلو من نوعٍ ما لتجميعها فيه. بدا هذا بسيطًا بالنسبة إلى أليس، حتى عندما شُرح لها أنه لإضفاء المزيد من الإثارة يوجد مجال كهربي ضعيف يعوق مرور الإلكترونات، ويُجبرها على الاستدارة إلى الخلف قبل وصولها إلى الدلو مباشرةً. وأخيرًا قال لها عامل الكشك إن ثمة أداة تحكُّم تسمح لأليس بزيادة شدة شعاع الضوء أكثر من شدته الحالية بعدة مرات. مهما بذلت من جهد في المحاولة، إلا أنها وجدت أنها لم تستطع دفع أي إلكترون على التحرك لهذه المسافة القصيرة. ثم زادت من شدة الضوء أكثر وأكثر، فانبعث المزيد والمزيد من الإلكترونات، لكن كل واحد منها كان يستدير عائدًا في اللحظة الأخيرة بسبب المجال الكهربي.

صاحت أليس في إحباط: «هذا سيئ للغاية فعلًا!»

رد عليها مُرافقها في أسفٍ: «أخشى أن هذا ما كان عليكِ توقعه؛ فكما ترَين أنتِ لم تُحصِّلي إلا القدرة على التحكم في شدة الضوء وليس في لونه. لو كان الضوء موجة كلاسيكية، لكان لكِ أن تتوقَّعي أنه مع زيادة شدة الإضاءة، يزداد الاضطراب المصاحِب لها، وعندها سوف يمنح هذا الإلكترونات المنبعثة من سطح الهدف المعدني المزيدَ من الطاقة. في الواقع، إن لون الضوء أو تردَّده هو ما يحدِّد طاقة الفوتونات المنفردة المكوِّنة

له، وبما أنكِ لم تُزوِّدي بأيٍّ وسيلة لتغيير هذا، فلن يتسنى لكِ تغيير طاقة الفوتونات أو في حالتنا هذه، طاقة الإلكترونات التي ستعمل هذه الفوتونات على إخراجها من السطح المعدني. بالتأكيد إن هذا الكشك قد أُعدَّ بعناية بحيث لا تكون هذه الطاقة كافية أبدًا للعبور من المجال الكهربي المعيق. وعندما زدتِ من شدة الضوء، فقد وجَّهتِ المزيد من الفوتونات نحو السطح، وأدَّى هذا إلى إنتاج المزيد من الإلكترونات، لكنها جميعها كانت لها الطاقة نفسها، وفي كل مرة لم تكن تلك الطاقة كافية أبدًا لوصول الإلكترون إلى دلو التجميع. أخشى أنك لا يمكنك إحراز الفوز.»

> الوصف الكَمِّي للعالم نادرًا ما يكون كما نتوقع. والسببُ في تصديقنا له أن تنبؤاته تتوافق مع النتائج التجريبية. إنها النظرية الوحيدة التي يمكنها أن تعطي أيَّ نوع من التفسيرات لسلوك المادة على مستوى الذرة، وهي تفعل هذا على نحو جيد جدير بالملاحظة.

شعرت أليس إلى حدٍّ ما بأنها قد خُدِعت في تجربتها مع هذا الكشك، ونظرت حولها تبحث عن شيءٍ ما مختلف تشغل نفسها به. رأت بالقرب منها خيمةً صغيرة لها لافتة كُتب عليها:

اصطفوا! اصطفوا!

هلموا لرؤية أكبر مجموعة من الكواركات في الأسر.

> تتمثَّل السمتان الأساسيتان للسلوك الكَمِّي في الكشف عن جسيماتٍ منفصلة ورصد ما يحدث من تداخل. يظهر رصد «الكوانتا»، أو الكَمَّات، عن طريق التأثير الكهروضوئي، وهو إنتاج الإلكترونات باستخدام الضوء الساقط على سطح معدني، وتتمثل النتيجة الوحيدة لزيادة شدة الضوء في زيادة عدد الفوتونات الموجودة؛ ومن ثَمَّ زيادة عدد الإلكترونات المُنتَجة. ما زال كل فوتون يتفاعل من تلقاء نفسه؛ لذلك إذا لم يتغير تردُّد الضوء عند تغيُّر شدته فإن كل فوتون ستظل له الطاقة نفسها، وكذلك ستظل طاقات جميع الإلكترونات المُنتَجة هي نفسها أيًّا كانت شدة الضوء. وهذا يختلف تمامًا عن السلوك المتوقَّع من الموجة الكلاسيكية، حيث تعني زيادة شدة الضوء زيادة الطاقة المتوفِّرة.

انسلَّت أليس ومرافقها إلى داخل الخيمة، حيث كان مقدِّم العرض يُخبر حشدًا صغيرًا كم أنهم محظوظون بمشاهَدة الكواركات الستة جميعها التي أُسرت وعُرضت من أجل تسليتهم. نظرت أليس إلى المعروضات، ولم يكن أيٌّ من الكواركات موجودًا بمفرده بالتأكيد؛ فكانت جميعها متجمِّعة في أزواج، كل واحد منها مرتبط على نحوٍ غير قابل للكسر مع كواركه المضاد. أدركت أليس أن هذا كان أقرب قدر مُمكِن للاقتراب من مجموعة من الكواركات المعزولة. فكَّرت أليس: «في النهاية لقد قال إنها كانت في الأسر.»

نظرت أليس إلى الكواركات المحتشِدة في أزواج. كانت محتشدة على منصة لها عدة مستويات، حيث كانت أثقل مجموعة من الكوارك في مستوى طاقة أعلى. رأت كواركًا علويًّا يهز حاجبَيه الثقيلَين لها كالسابق، كما رأت كواركًا سفليًّا، وأعلى منه بقليل كواركًا غريبًا له شعر مجعَّد أحمر متوهِّج.

بالإضافة إلى هذه الأنواع الثلاثة التي قابلتها بالفعل في الحفل التنكري، كان ثمة نوعان أعلى منها. أظهر أحدهما شخصية آسرة خلابة، ورأت أليس وميضًا سريعًا للضوء مثل الذي يظهر من الأسنان البيضاء على نحوٍ لا يصدق. غمغم ميكانيكي الكَم في أذنها: «هذا كوارك ساحر.» كان الكوارك الآخر الجديد أثقل منه. هذا الكوارك كان مكانه أعلى بكثير لدرجة أن أليس رأته بوضوح أقل عن بقية الجسيمات التي قابلتها، لكن انتابها شعورٌ غريب بأن هذا الكوارك كانت له رأس حمار. أخبرها مرافقها: «هذا هو الكوارك القعري.»

نظرت أليس الآن إلى أعلى كي ترى الكوارك السادس. كان ثمة موضِع له على المنصة لكنه كان شاغرًا. لم يكن ثمة أي أثر للكوارك السادس، الذي قيل لها إنه الكوارك القمي.

لاحظ أفراد آخرون من الجمهور أيضًا غياب الكوارك السادس، وكانوا يحتجون على هذا في صخب. قال مقدِّم العرض محاولًا التلطيف والتهدئة: «حسنًا، حسنًا! أعرف أنه هنا في مكانٍ ما؛ فالكوارك القمي هو الأثقل من بينهم جميعًا؛ ولذلك علينا أن نبحث عنه في الطاقات العالية، لكن لا بد له أنه هناك.» التقط شبكة كبيرة لصيد الفراشات كانت مستنِدة على أحد الأعمدة، وتسلَّق سُلَّمًا نقَّالًا، وبدأ يلوح بها على نطاق واسع في مكان قريب من أسفل سطح الخيمة.

في أثناء هذا، زاد ما يشعر به المتفرِّجون من ضجر، وتزايدت تعليقات التململ الصادرة من كل مكان، وبالتدريج زاد مزاج الحشد سوءًا وبدءوا في الخروج خلسة من المكان ليكتبوا خطابات انتقاد لمجلاتهم التقنية المفضَّلة. قال ميكانيكي الكَم لأليس: «فلنبتعِد من هنا، لا مكان لنا هنا الآن.»

تحرَّكا إلى الخارج وقد شدَّ انتباهَها كشك آخر، كان الناس محتشدين عنده، يرمون بكُرات نحو جوائز متنوعة، سوف يفوزون بها فقط إن استطاعوا إزاحتها عن حواملها. بدا مشابهًا كثيرًا لكشك مدينة الألعاب الذي رأته بالقرب من بيتها، فيما عدا أن هذا الكشك كان به سور من أسلاك رفيعة بينها مسافاتٌ غير منتظمة، يفصل بين المتنافسين وأهدافهم.

راقبت أليس لبعض الوقت، ولاحظت أنه بمجرد رمي إحدى الكرات فإنها تصبح مشوشة تمامًا، ويكون من المستحيل تحديد إلى وجهتها بالضبط حتى تصطدم بنقطةٍ ما على طول الحائط الخلفي للكشك. رأت أن أغلب الكرات تفعل هذا بالضبط؛ فهي تصطدم بالجدار دون لمس أيٍّ من الجوائز. وبالتدريج تكدَّست أكوام من الكرات في مكان اصطدامها بالجدار، ولاحظت أليس أن هذه الأكوام قد استقرَّت على نحوٍ مرتَّب في المسافات الموجودة بين الجوائز.

> ثبتَ مؤخرًا أن الكوارك القمي موجود في الكتل العالية للغاية. وينضمُّ الكوارك القمي إلى نوعَي الكواركات المعروفة سابقًا، وهما الكوارك الساحر والكوارك القعري، في إكمال الصورة. في الوقت الحالي، يُعتقَد أن ثمة ستة أنواع فقط من الكواركات مع مجموعة مكافئة من ستة لبتونات. فهل الكواركات بدورها مصنوعة من شيءٍ ما أوَّلي أكثر من ذلك؟ لا توجد حاليًّا أي وسيلة لتأكيد هذا.

قال صوتٌ بجوار أذنها، مردِّدًا أفكارها كصدًى لها: «صحيحٌ تمامًا، تعمل الأسلاك المتباعِدة بعضها عن بعض بمسافاتٍ منتظمة على إنتاج نمط تداخل، مع زيادة احتمال رصد الكرات في بعض الأماكن أكثر من غيرها. وبطبيعة الحال تكون الحدود الأدنى، وهي الأماكن التي تكون احتمالية العثور فيها على كرات أدنى ما تكون، مرتَّبة بحيث تقع في أماكن وجود الجوائز.»

علَّقت أليس قائلة: «هذا لا يبدو عادلًا إلى حدٍّ كبير.»

«حسنًا، ربما لا، لكن في مدينة الألعاب لا تتوقعي أن تكون الأمور عادلة؛ ففي النهاية، لا بد للرجل الذي يدير الكشك أن يكسب قوته؛ ولذلك فهو لا يريد أن يمنح الجوائز طوال الوقت. وبالطبع ما زال ثمة احتمال لرصد الكرة حتى في مناطق الحدود الأدنى، ولهذا تُمنح بعض الجوائز بالفعل، لكن ليس كثيرًا.»

ظلَّت أليس تشعر أن هذا لم يكن صائبًا تمامًا إلى حدٍّ ما، لكن قبل أن تقول أي شيء آخر، استرعى انتباهَها سرادقٌ ضخم على بُعد مسافة صغيرة منها، كانت تعلوه لافتة ضخمة مضيئة مكتوب عليها:

المتناقض العظيم!

سلوك مخيف عن بُعد!

وتحت اللافتة كان ثمة عدد من الملصقات الكبيرة مصطفَّة على طول مقدمة المبنى:

مُذهلٌ على نحوٍ لا يُصدَّق!
غير مفهوم على نحوٍ متناقض!
مباغِتٌ إجمالًا إلى حدٍّ ما!

شقَّت أليس ومرافقها طريقهما نحو هذا العرض، وانضما إلى الحشد الذي كان يتدفَّق عبر المدخل، وفي الداخل كان ثمة مساحة مسيَّجة مرتفعة السقف ومنصة منصوبة في المركز، وعلى الجانبَين كان ثمة منحدران قصيران يتجهان إلى الأعلى ويصلان إلى بابَين في نهايتَي المبنى. على كلِّ منحدر كان ثمة أسطوانة معدنية قصيرة لها مقدِّمة مدبَّبة وزعانف قصيرة وسميكة على الظهر.

وقف على المنصة المركزية المتناقِض العظيم، وقد كان كيانًا طويلًا له شعر أسود لامع وشارب مشمَّع شعيراته منتصبة وعباءة فضفاضة سوداء. حيَّاهم قائلًا: «مساء الخير، أيها السيدات والسادة. أخطِّط الليلة لإجراء تجربة صغيرة بشأن اختزال السعات، قد تجدونها مثيرة بعض الشيء.» ثم واصل حديثه: «هنا على المنصة الموجودة بجواري ترون مصدر الانتقالات؛ الانتقالات التي سوف تؤدِّي إلى إطلاق فوتونَين في اتجاهَين معاكسَين تمامًا. كما تعلمون، إن كان عليكم قياس اللف المغزلي للفوتونات على طول اتجاه معيَّن من اختياركم، فسوف تجدون أن لها لفًّا مغزليًّا إما علويًّا أو سفليًّا، ولا يوجد أي خيار وسط محتمل.» لم تكن أليس تعرف هذا، مع أنها سمعت حديثًا عن الإلكترونات ذات اللف المغزلي العلوي وذات اللف المغزلي السفلي، لكن كان جميع الحاضرين الآخرين يُومِئون برءوسهم بطريقة تنم عن أنهم على بيِّنة معرفية بذلك؛ ومن ثمَّ فقد افترضت أن هذا بالتأكيد صحيح كل الصحة.

إنَّ أهم ما يُميز السلوك الكَمِّي هو الكشف عن جسيمات متمايزة ورصد ما يحدث من تداخل. يحدث رصد الجسيمات، أو الكَمَّات، في مكان واحد بدلًا من أن تنتشر عبر منطقة واسعة مثل موجة كلاسيكية. ومع ذلك، تبدو الجسيمات وكأنها تتصرَّف مثل الموجات، من حيث إنها تُظهِر تأثيرات التداخل بين السعات المختلفة التي تصف كل الأشياء التي من المحتمَل أن يفعلها الجسيم. أما التداخل، فيمكن إثباته من خلال انبعاث الإلكترونات على نحو مبعثَر من شبكة منتظمة، كما يحدث في حالة ترتيب الذرات في بلورة، ويُمكن إجراؤه بشدة ضئيلة لدرجة أن إلكترونًا واحدًا فقط يكون موجودًا في المرة الواحدة.

«كما قلت، إذا كان عليكم قياس اللف المغزلي، فإنكم ستجدون أنه إما لف علوي أو لف سفلي، لكن إن لم تقوموا بالقياس فسوف يكون هناك مزيج، أو تراكب كَمِّي للحالات حيث يتخذ اللف المغزلي اتجاهاتٍ مختلفة، وفقط عندما تقيسون اللف المغزلي يحدث اختزال السعات؛ فتُنتخَب سعة واحدة في حين تختفي سعةٌ أخرى من الوجود.» ثم قال فجأة: «والآن، المصدر الذي ترونه هنا يقوم بانتقالاته من حالات ليس لها لفٌّ مغزلي على الإطلاق؛ ولهذا لا بد أن يكون اللف المغزلي الكلي للجسيمَين الناتجَين صفرًا أيضًا.» ثم فسَّر أكثر قائلًا: «هذا يعني أن اللف المغزلي للفوتونَين يجب أن يكون معاكسًا؛ فإن كان لأحدهما لف مغزلي علوي فإن الآخر يجب أن يكون له لف مغزلي سفلي، لكن، لا بد أن تنتبهوا إلى أن انتخاب اتجاه اللف المغزلي للفوتونات لا يحدث إلا من التراكب الكَمِّي للحالات عند إجراء قياس فقط، وهذا هو المفهوم المعتاد؛ وعليه فكما ترون أنه عندما نجري قياسًا على فوتون واحد ونكتشف مثلًا أن له لفًّا مغزليًّا علويًّا، فإن التراكب الكَمِّي لسعة هذا الفوتون سوف تُختزل إلى الحالة المناسبة.»

واصل المتناقِض حديثه، وهو يقف منتصب القامة تمامًا: «ومع ذلك، في الوقت نفسه، يجب اختزال التراكب الكَمِّي للفوتون الآخر أيضًا؛ لأننا نعرف أن هذا الفوتون يجب أن يكون له لفٌّ مغزلي معاكس. ولا بد أن يحدث هذا مهما كانت المسافة التي تفصل بين الفوتونَين في وقت القياس، حتى وإن كانا قد بلغا نجمتَين مختلفتَين في السماء.» وابتسم إلى جمهوره قائلًا: «في عرضنا التوضيحي هذا لن نُجري بالطبع قياسنا على مثل هذه المسافة البعيدة.» ثم استطرد قائلًا: «الآن، أدعو متطوعَين؛ اثنين من المجرِّبين الموثوق بهم والصادقين، يُوافقان على الارتحال إلى الطرفَين المقابلَين من أرض بلاد الكَم، ويُجريان عملية الرصد لنا.»[١]

صدرت غمغمة جدال ونقاش من الحشد المجتمِع. وفي النهاية دُفع فردان من الجمهور إلى الأمام. كان كلاهما يرتدي سترة طويلة مشقوقة الذيل وبنطالًا ضيقًا، وكان لكليهما سالفان كثيفان. كان كلاهما يرتدي أيضًا صدرة، ومع كليهما سلسلة ذهبية متصلة بساعة، تخلَّى مالكها عنها مؤخرًا في مقابل الحصول على ساعة عادية موثوق فيها. لم يكن هذان الاثنان متماثلين فعليًّا، حيث إن الجسيمات فقط هي التي تكون متماثلة بالكامل، لكنهما كانا بالتأكيد متشابهين كثيرًا. كان من الواضح أن كليهما سيدان مبجَّلان ونزيهان وموثوق فيهما، بالإضافة إلى كونهما من الراصدين الأكفاء وضميرهما يقظ؛ فإن قالا إنهما رأيا شيئًا فلا أحد تراوده فكرة مخالفتهما ولو حُلمًا.

سلَّم المتناقِض إلى كلٍّ منهما مقياس استقطاب، وهو جهاز يمكنهما استخدامه في قياس اتجاهات اللف المغزلي للجسيمات. بدقة متناهية، فكَّك كلٌّ منهما أداة القياس التي حصل عليها، وتفحصها ليتأكد من خلوها من أي سماتٍ غير مألوفة، وسريعًا ما أعادا تركيبها. بعدها استدعى مقدِّم العرض مساعِدتَين جذَّابتَين، اصطحبتا المتطوعَين إلى الأسطوانتَين المعدنيتَين وفتحتا بابًا في جانب كلٍّ منهما. لسببٍ ما وضع كلا الراصِدَين قبعة طويلة على رأسهما قبل أن يحصرا نفسيهما في داخل المساحة الصغيرة داخل الأسطوانة. أغلقت المساعدتان البابَين، وأضاءتا فتيلًا خلف الأسطوانتَين، وسارتا إلى الخلف في عجالة. اندفع الصاروخان القصيران وسط دوي صاخب منطلقَين إلى الأعلى من على المنحدرَين، وعبر البابَين في نهايتَي السرادق، واندفعا في شكل مقوَّس فوق الأفق متَّجهَين إلى طرفي بلاد الكَم المتقابلين.

علَّق مُتعهِّد العرض: «والآن ننتظر وصولهما؛ فبمجرد وصول كلٍّ منهما إلى موضعه سوف يُرسِل لنا رسالة عبر خط التلغراف الخاص به.» أشار إلى جرسَين يرتكزان على منضدتَين صغيرتَين عند كلتا طرفَي المنصة. نظر الجميع إليهما، في انتظار انطلاق رنينهما كإشارة على أن العرض من الممكن أن يُستكمَل. كان انتظارًا طويلًا.

علَّقت أليس التي بدأت هي نفسها تشعر ببعض الضجر: «يبدو الجميع صبورًا للغاية.»

رد ميكانيكي الكَم: «لا بد لهم جميعًا أن يكونوا هكذا؛ فالعلماء التجريبيون جميعهم تعلَّموا التحلِّي بالصبر.»

أخيرًا دق الجرسان؛ أحدهما أولًا، ثم بعد فترة قصيرة دق الآخر. أشار هذا إلى أن كلا الراصِدَين باتا في موقعيهما، وبإيماءة مسرحية فتح المتناقِض نافذتَين في كلا طرفَي مصدر فوتوناته. اندفعت الفوتونات اثنين بعد اثنين في اتجاهَين معاكسين.

بعد فترةٍ أغلق النافذتَين مرةً أخرى، وساد الصمت مجددًا لفترة طويلة. فكَّرت أليس التي شعرت بأن العرض يُمكن أن يتحرك أسرع من هذا بقليل: «أتساءل ما الذي ننتظره الآن.» صدر صوت رفرفة أجنحة، ودخلت عبر الباب في إحدى طرفَي المبنى حمامة زاجلة، أمسكَت بها بمهارة واحدة من المساعدتَين. لم يمضِ وقتٌ طويل حتى وصلت حمامة عبر الباب الآخر، وبات من الممكن مقارنة الرسالتَين اللتَين كانت كلٌّ منهما تحملها. عرض المتناقِض الرسالتَين اللتين كان من الواضح ارتباطهما ارتباطًا وثيقًا، حيث ذهب فوتون ذو لف مغزلي علوي إلى أحد الطرفين، مصحوبًا طوال الوقت بنسخة ذات لف مغزلي سفلي رُصدت عند الطرف الآخر، على الرغم من أن كلا الراصدَين كانا بعيدَين كل البعد بعضهما عن بعض، بحيث لا يتسع لهما الوقت لتبادل أي معلومات.

صاح شخصٌ ما على الطرف الآخر من الغرفة الكبيرة: «لا يوجد أي غموض في هذا.» صدر هذا الصوت من كيان طويل القامة، لم تستطع أليس أن تراه بوضوح، لكنه بدا قريب الشَّبه إلى حدٍّ ما من الميكانيكي الكلاسيكي. واصل حديثه فقال: «من الواضح أن الفوتونَين لم يكونا غير متأكدَين بالكامل مما إذا كان لفهما المغزلي علويًّا أو سفليًّا وقت مغادرتهما للمصدر. بطريقةٍ ما كانا يعرفان نوع اللف المغزلي لكلٍّ منهما، كما كانا يعرفان أيضًا أنه لا بد عليهما أن يكونا متضادَّين. لا يهم إذن طول الفترة التي ينتظرانها قبل أن يُرصَدا؛ فسيتَّضح اتجاه لفهما المغزلي الذي كان محدَّدًا بالفعل عند انطلاقهما.»

ابتسم مُتعهِّد العرض في ابتهاج، ولم يكن يبدو عليه الارتباك على الإطلاق: «تبدو هذه حجة منطقية للغاية، أليس كذلك؟ علينا أن نوسِّع من نطاق عرضنا التوضيحي بعض الشيء. أنت تقول إنه قد تقرَّر في وقت الإطلاق ما إذا كان اللف المغزلي للفوتون إلى الأعلى أو إلى الأسفل، وإنهما يحملان هذه المعلومة معهما في أثناء انتقالهما. ما الذي يحدث إذن لو أن راصِدَينا كان عليهما قياس اللف المغزلي في اتجاهات أخرى، فلنقل إلى اليمين أو إلى اليسار أو في زاوية أخرى بينهما؟ وما الذي يحدث لو أن راصِدَينا كان عليهما أن يُديرا مقياسيهما للاستقطاب كما يحلو لهما وعندما يشعران برغبة في فعل هذا، دون الرجوع إلينا أو التعاون معًا؟ وهل سيكون من الممكن للمصدر أن يعرف مقدَّمًا المعلومات التي عليه إرسالها مع الجسيمات بحيث يتوافق لفها المغزلي تمامًا مع الزوايا التي يختارها صديقانا لقياساتهما؟ لا أعتقد هذا!»

دوَّن سريعًا تعليماتٍ جديدة للراصِدَين، وربط الملاحظات في أرجل الحمامتين، وأرسلهما من حيث أتيا. بعد فترة دق جرسا التلغراف مرةً أخرى بما يوضِّح أن

الرسالتين قد وصلتا وجرى استيعاب محتواهما. مرةً أخرى فتح النافذتين في تفاخُر في المصدر المركزي وترك تيار الفوتونات يخرج عبرهما. وبعد فترة مناسبة أغلق النافذتين مجدَّدًا، ثم عاد لينتظر. كانت أليس قد بدأت تشعر بضجر واضح من انتظار حدوث شيء ما عندما صدر أخيرًا صوت شيء ما يندفع في ضوضاء عارمة من كلا الطرفين. ازداد صوت هذه الضوضاء صخبًا، ثم جاء الصاروخان يتحركان في شكل قوس عائدَين إلى الأسفل عبر البابين في طرفَي المبنى، وهبطا مرةً أخرى على المنحدرين اللذين كانا قد غادرا منهما.

حين استقرَّت الأسطوانتان القصيرتان السميكتان وصدر منهما دخان خفيف، فُتح البابان ومن كل مركبة نزل واحد من الراصِدَين، وقد كانا ما زالا يرتديان قبعتَيهما الطويلتين الرسميتين. مشى الاثنان نحو مُتعهِّد العرض، ونزعا قبعتَيهما، ثم انحنَيا له وقدَّما له ملاحظاتهما. بحسب ما رأته أليس، احتشد جميع الحضور باستثنائها في الحال حولهم في محاولة لأن يكون كل واحد فيهم أول من يُلقي نظرة خاطفة على النتائج. كان ثمة صخب هائل من مناقشات وجدال وبدءوا جميعًا في إجراء حساباتهم الخاصة. رأت أليس أفرادًا يحملون أجهزة كمبيوتر محمولة صغيرة للغاية، وآلات حاسبة إلكترونية متناهية الصغر، ومساطر حاسبة. رأت أيضًا فردًا يحمل آلة حاسبة ميكانيكية غريبة، بها أعداد من تروس متناهية الصغر. أما الأفراد الصينيون الذين كانت قد لاحظت وجودهم في وقتٍ سابق فقد أخرج كلٌّ منهم مِعدادًا، وشرعوا في تحريك حباته بأصابعهم الرشيقة إلى الأمام والخلف على طول أسلاكه بسرعة أكبر من قدرة عينَيها على المتابعة، حتى السيد كثيف الشعر الذي كان يرتدي جلود الحيوانات كان مشاركًا، كان قد تخلى عن عجلته، وكان يُمارس بعض الإجراءات المعقَّدة مستخدمًا العديد من المجموعات الصغيرة من عظام المفاصل المبيضة.

في النهاية، هدأت المجموعات المتجادِلة ووصلوا معًا إلى استنتاج مشترك. قالوا جميعًا إنه كان بالفعل ثمة توافق كامل لا يُمكن تفسيره بين اتجاهات اللف المغزلي للفوتونَين، فحتى عند حدوث تغييرات اعتباطية في اتجاهات قياس اللف المغزلي لكلٍّ منهما، فإن العلاقات المتبادلة المرصودة كانت أكبر بكثير مما يُمكن تفسيره بأي معلومة يمكن إرسالها مع الجسيمات. اتفقوا جميعًا على أن الأمر كله واضح تمامًا، في الحقيقة واضح تمامًا مثل صوت قرع الجرس. لم يبدُ الأمر بهذا الوضوح لأليس، لكن بما أنهم جميعًا متَّفقون على هذا، فلا بد أنه صحيح.

علَّق ميكانيكي الكَم حين عاد من وسط الزحام: «هذه نتيجة مُثيرة للاهتمام.» كان أغلب الموجودين الآخرين ما زالوا يتجادَلُون في إثارة، على الرغم من حقيقة أنهم بدَوا جميعًا متَّفقين. «إن هذا يُظهِر أن سلوك الدالة الموجية في الأماكن المختلفة لا يمكن أن يكون نتيجة رسائل تنتقل من موضع إلى آخر؛ فببساطة لا يوجد وقت كافٍ لهذا، وهذا يعرض مظهرًا جديدًا للغاية من مظاهر الطبيعة الكَميَّة.»[٢]

ربما يكون مُثيرًا للاهتمام، لكن أليس شعرت بوجود الكثير من فترات الجلوس والانتظار، وأنها ترغب في وجود المزيد من الحركة؛ ولذلك غادرا السرادق وذهبا إلى الخارج لفحص الألعاب.

أبدى ميكانيكي الكَم ملاحظته: «عليكِ أن تتصرفي كجسيم مشحون إذا أردتِ ركوب أيٍّ من الألعاب؛ فالألعاب جميعها تعمل بالتسارع الكهربي؛ ولهذا فهي لن تعمل إلا مع الجسيمات المشحونة. وبما أنكِ مجرد جسيم شرقي نوعًا ما، فأنا أرى سببًا يمنعكِ من أن تكوني جسيمًا مشحونًا تمامًا بالسهولة نفسها التي تكونين بها جسيمًا غير مشحون.»

وصلا إلى مبنًى طويلًا للغاية وضيِّقًا، عُلِّقت عليه لافتة كُتِبَ فيها:

اركب الموجة!

اركب الموجة الكهرومغناطيسية ميلًا بعد ميل.

(هذا يساوي ميلين؛ عُدَّهم: ٢.)

كان ثمة صفٌّ من الإلكترونات المستثارة في الخارج، تنتظر دورها كي تركب، لكن أليس لم تعتقد أن هذه هي اللعبة التي تريد أن تركبها في الوقت الحالي؛ فهي تُفضِّل أن تركب شيئًا ما يُشبِه دراجة العجلة الكبيرة الدوَّارة، التي كانت قد ركبتها في أحد المهرجانات بالقرب من بيتها.

ذكرت هذا لُمرافقها الذي قال إنه سيصحبها إلى الماكينات الدائرية. وبينما هما يسيران قدمًا في هذا الاتجاه مرَّ بهما موكب. رأيا تعاقبًا لعدة عربات صغيرة تجرُّها الخيول، على كلٍّ منها كان ثمة جهاز ضخم متوازن مبني حول مغناطيس حديدي ضخم به لفائف من أسلاك نحاسية من حوله، والعديد من الأجهزة المثيرة للاهتمام في مركزه. كانت تتدلى من كل هذا مجموعات كبيرة من أسلاك وكابلات ملتوية.

سألت أليس: «كيف يمكن لهذه العربات الصغيرة تحمُّل كل هذا الوزن؟ كان لا بد لها حتمًّا أن تسحق لتتساوى بالأرض تحت ثقل مثل هذه الكتل المعدنية الضخمة؟»

«حسنًا، كان من الممكن لهذا أن يحدث لو أن هذه القطع من المُعدَّات كانت حقيقية، لكن هذا هو موكب تمويل التجارب؛ لذلك فكل واحدة منها هي مجرد مقترَح. إنها تُشبِه إلى حدٍّ كبير التجارب التي أجريناها في غرفة الأفكار. إنها مجرد أفكار وليدة اللحظة، وليست واقعية على الإطلاق؛ ولذلك فهي ليست ثقيلة للغاية. في الحقيقة، أغلبها يحمل وزنًا خفيفًا جدًّا.»

نظرت أليس إلى الموكب ولاحظت أن العربة الثانية تحمل جهازًا مماثلًا تمامًا للجهاز الأول. أما العربة الثالثة فتحمل واحدًا آخر يشبههما تمامًا، وكذلك الحال بالنسبة إلى العربة الرابعة والخامسة والسادسة، وهكذا على طول ما يُمكن رؤيته من الموكب. علَّقت أليس فقالت: «لا يبدو أن ثمة قدرًا كبيرًا من التنوع.»

رد مُرافقها: «هذا بسبب ضرورة إدراج نُسَخ عديدة من كل مقترَح. سوف يظهر واحد مختلِف في الوقت المناسب.»

بينما كانا ينظران امتلأت الطوافات المدفوعة بالهواء بعاصفة ثلجية من قصاصات ورق غير منتظمة. قال ميكانيكي الكَم لأليس قبل أن تسأل: «هذه طلبات منحٍ غير ناجحة ممزَّقة، تعالَي معي، من الأفضل أن نجد لعبتك.»

عبَرا سلسلة من العجلات الدوارة الكبيرة. كانت جميعها مستلقية على جوانبها بدلًا من أن تكون معتدلة كحالها في أي مدينة ألعاب طبيعية. أخبرها مرافقها أنهم في مدينة الألعاب هذه يُطلِقون عليها حلقات بدلًا من عجلات. كانت توجد الحلقة الكبيرة والحلقة الكبرى بكثير، و«سِيرن» الحلقة الهائلة الضخمة. قررت أليس أنها تحبِّذ ركوب هذه العربة الأخيرة.

اصطفَّت مع حشدٍ متزاحِم من البروتونات، وسرعان ما كانت تدخل إلى الماكينة وتجلس أو «تُحقن» كما يصطلحون على تسمية ذلك، في وعاءِ أشعة. كانت هذه حاوية كهربية من نوع ما تشاركتها أليس مع حشدٍ كبير من البروتونات تتحرَّك في انفعال في جميع الاتجاهات. انطلقت مندفعة، تتسارع حركتها إلى الأمام بفِعل مجالات قوية تتجاذب شحناتها الكهربية. عندما حشد هذا الجمع سرعته هدأت البروتونات واندفعت جميعها معًا إلى الأمام.

ازدادت سرعة تحرُّكها، تُوجِّهها في هذا المجالات المغناطيسية. وبعد فترة من الوقت، بدأت أليس تلاحظ أن سرعتها لم تعُد تزيد كثيرًا، بالرغم من أنها ما زالت تستطيع الشعور بالتسارع. سألت أحد البروتونات عن هذا، وقد أخبرها أنهم الآن يتحرَّكون بسرعة

مساوية لسرعة الفوتونات، ولا شيء يمكنه أن يتحرَّك أسرع من هذا، ولكن طاقتهم الحركية ما زالت في تزايد. بدا هذا غريبًا على أليس، وكانت على وشك أن تناقشه في الأمر، عندما حدث جذب قوي مفاجئ وشعرت بنفسها تطير إلى خارج الحلقة مع البروتونات.

اندفعت في الهواء في سرعة بدت هائلة. وحين نظرت أمامها، أصابها الفزع عند رؤيتها لحائط أمامها مباشرةً وإدراكها أنها والبروتونات كانا متَّجهَين نحوه مباشرةً! تأهَّبت للاصطدام مع اقتراب الحائط منهم أكثر فأكثر، لكن لدهشتِها الشديدة ارتطمت بالجدار كأنها ترتطم بضباب أو حلم.

> أحد المفارقات في فيزياء الكم أن القياسات التي تجري على الأجسام الصغيرة للغاية لا بد أن تحدث باستخدام مسرعات جسيمات ضخمة. بسبب علاقة هايزنبرج يقترن الحجم الصغير بزخم حركة هائل ويتطلب ماكينة كبيرة لتسريع الجسيمات لتصل إلى الطاقات الهائلة اللازمة. معظم مسرعات الجسيمات ذات الطاقة العالية للغاية دائرية وتتحرَّك الجسيمات حولها عدة مرات مع تسارع حركتها. ثمة عدد قليل من المسرعات الخطية الكبيرة، التي يتعرَّض فيها الإلكترونات للتسارُع على طول مسار واحد مستقيم، مثل «ليناك» المسرع الخطي في ستانفورد في كاليفورنيا والذي يبلغ طوله ٢ ميل.

نظرت حولها ورأت أنه بالرغم من أن الحائط كان تأثيره طفيفًا عليها، فإن العكس لم يكن صحيحًا؛ فقد مزَّقت ذرة بطريقةٍ ما، وقد انفجرت وتمزقت إربًا، فبدأت الإلكترونات تنهمر إلى الخارج، وتحرَّرت النواة وانجرفت بمُفرَدِها. سحبت من حولها من كل جهة قطارًا مميتًا من فوتوناتٍ افتراضية. هاجمت هذه الفوتونات الذرات التي تمر بها، والتي بدت كخيط رقيق تمزَّق بالكامل بفِعل التأثير البعيد لمرورها. اقتربت من نواة فتهشَّمت هي الأخرى، وتبعثرت البروتونات والنيوترونات في كل اتجاه. تذكرت في فزع الأشعة الكونية التي رأتها في قلعة رذرفورد، تلك الأشعة التي دمرت ببساطة شديدة ودون عناء قلعةً نووية. والآن باتت مرعوبة من إدراكها أنها قد أصبحت مثلها، تخلِّف وراءها رقعة عريضة من الدمار بين الذرات والأنوية التي تمر بها!

رأت نيوترونًا أمامها مباشرةً لمجرَّد لحظة قبل أن تصطدم به. لمحت كواركاته الثلاثة لفترة وجيزة وهي تندفع في هلع مع مرورها. لم تخرج منفردة من النيوترون؛ وذلك لأنها كانت مرتبطة بعضها ببعض بإحكام، لكن سلاسلها ظلَّت تتمدَّد وتَنقطِع، مع إنتاج عدد هائل من أزواج الكواركات والكواركات المضادَّة؛ فالمكان الذي كان النيوترون يقف فيه

من قبل أصبح الآن تدفقًا هائلًا من الميزونات المحمولة نحو الأمام بفِعل زخم الحركة الهائل لدى أليس.

أخفَت أليس عينَيها حتى تمحو صورة الفوضى التي تراها أمامها، خشية أن ترى بعضًا من الكوارث الأخرى الأكثر عنفًا. وانتابها شعورٌ وجيز بالسقوط وشعرت بارتطام طفيف.

تستطيع الجسيمات العالية الطاقة التي تُنتجها المُسرِّعات اختراقَ المادة العادية لمسافات طويلة؛ فهي تتمتع بطاقة مرتفعة مقارنةً بتلك الموجودة في الروابط الإلكترونية بين الذرات، والتي يكون لها تأثير طفيف في التخفيف من سرعتها. تترك مثل هذه الجسيمات رقعة من التأيُّن والروابط المكسورة على طول مسارها. وفي حال ما إذا مرَّت بالقرب من نواة ذرة، فإنها تؤدي إلى انقسامها أيضًا. وفي النهاية، تفقد هذه الجسيمات السريعة كلَّ طاقتها في مثل هذه العمليات، لكنها تستطيع أن تقطع شوطًا طويلًا.

فتحت أليس عينَيها سريعًا، لتجد نفسها قد سقطت من على الأريكة في حجرة معيشتها، وكانت ترقد على الأرض. نهضت سريعًا ونظرت حولها. كانت الشمس ساطعة في جوٍّ يبعث على البهجة عبر النافذة، وقد انقشع المطر. التفتت لتنظر إلى التليفزيون الذي كان ما زال يعمل. ظهر على شاشته مجموعة من الأفراد الجادِّين يجلسون في أستوديو، وقد تراصُّوا بعناية على كلا جانبَي معلِّق تليفزيوني، عرفت أليس منه أنهم على وشك أن يخوضوا في نقاش حول مستقبل التخطيط العلمي في البلاد.

قالت أليس: «مملٌّ.» وأطفأت التليفزيون في حزم، وخرجت للاستمتاع بأشعة الشمس المشرقة.

هوامش

(١) كان ثمةَ الكثير من المحاوَلات لتصميم تجربة يمكنها أن تُعارض أكثر تنبؤات نظرية الكَم تطرفًا، لكن حتى الآن كانت ميكانيكا الكَم ولا تزال مصونةً ولها تبريراتها.

أحد الأمثلة على هذا تجربةُ «أسبيكت» لفحص مفارقة آينشتاين — بودولسكي — روزن (إي بي آر)؛ فتوجد عدة أشكال من هذه المفارقة، والتي تشتمل على قياسات للف المغزلي للجسيم، وهو الدوران التكميمي الغريب الموجود لدى الجسيمات الأولية، مثل

الإلكترونات والفوتونات أيضًا. تتناول هذه المفارقة حالة النظام الذي ليس له أي لف مغزلي، ولكنه يُطلِق جسيمَين لهما لف مغزلي وينتقلان مباشرةً بعيدًا أحدهما عن الآخر. تُخبِرنا قيود نظرية الكَم أن قياس اللف المغزلي لأيٍّ من الجسيمَين لا يمكن أن يُظهِر إلا إحدى قيمتَين: لف مغزلي علوي أو لف مغزلي سفلي. وإن لم يكن للنظام الأصلي أي لف مغزلي، فلا بد أن يتعادل اللف المغزلي للجسيمَين؛ وهكذا، فإذا كان أحدهما له لف مغزلي علوي فإن الآخر يجب أن يكون له لف مغزلي سفلي؛ وبهذا يكون مجموع الاثنين لفًّا مغزليًّا كليًّا قيمته صفر. وإن لم يُجرَ أي قياس للف المغزلي للجسيم، فإن ميكانيكا الكَم تنص على أن كلا الجسيمين سيكونان في تراكب كَمِّي لحالتَي اللف المغزلي العلوي واللف المغزلي السفلي. وعند إجراء قياسٍ للَّفِّ المغزلي لأحدهما، فعندها يصبح لفه المغزلي محدَّدًا، إما علوي أو سفلي، لكن في الوقت نفسه يصبح اللف المغزلي للجسيم الآخر محددًا أيضًا، حيث إن الاثنين يجب أن يكونا متضادَّين. وينطبق هذا بصرف النظر عن المسافة التي تَحرَّكها الجسيمان بعضهما بعيدًا عن بعض منذ انفصالهما. هذا هو جوهر مفارقة آينشتاين — بودولسكي — روزن.

(٢) قد يبدو منطقيًّا أن نفسر مفارقة آينشتاين — بودولسكي — روزن بأنها بطريقةٍ ما قد تحدَّد مسبقًا اللف المغزلي منذ البداية؛ ذلك أن الجُسَيمان كانا يعرفان بطريقة ما عند انطلاقهما أيًّا منهما سيكون له لف مغزلي علوي وأيُّهما سيكون لفه المغزلي سفلي. وفي هذه الحالة مهما كانت المسافة التي قد يقطعانها فإنهما يحملان هذه المعلومة معهما. تدرس مبرهنة بِل حدود المعلومات التي يُمكن للجسيمات أن تحيط بها مقدمًا، وهي المبرهنة التي تتناول ما يحدث إذا لم تُجرى قياسات اللف المغزلي على طول اتجاه واحد محدد مسبقًا، بل قياسات في مجموعة مختارة من الزوايا الخاصة بالجسيمَين. هذه العملية الحسابية غامضة بعض الشيء، لكن الخلاصة أنه في بعض الحالات تتنبَّأ ميكانيكا الكَم بوجود ارتباط أكبر بين القياسات على الجسيمَين؛ مما يُمكن ترتيبه بفِعل أي معلومات مسبقة قد تُرسَل مع الجسيمين دون معرفة سابقة بالاتجاهات التي سيتعرَّض اللف المغزلي للقياس على طولها. عمل آلان أسبيكت في باريس على قياس هذا التأثير، ووجد أنه كالعادة اتَّضحَت صحةُ ميكانيكا الكَم؛ فيبدو أنها تتضمَّن نوعًا ما من المعلومات تنتقل بسرعة أكبر من سرعة الضوء.

لا يوجد تعارض مباشر بين نتيجة أسبيكت والفهم العادي لنظرية النسبية الخاصة لآينشتاين. تنص نظرية آينشتاين على أنه لا يمكن لمعلوماتٍ أو رسائل أن تنتقل بسرعة

أكبر من سرعة الضوء. ولا يُمكن أن يُستخدَم التأثير المقصود في مفارقة آينشتاين — بودولسكي — روزن في إرسال الرسائل؛ فإذا كنت تستطيع تقرير قياس اللف المغزلي لجسيم بوصفه علويًّا أو سفليًّا، فإن اللف المغزلي العكسي للجسيم الآخر سوف يُرسِل معلوماتٍ في صورة شفرة مورس، لكنك لا تستطيع فعل هذا؛ فأنت ليس لديك أي تحكُّم في نتيجة قياس على تراكب الحالات الكَميَّة؛ فالنتيجة تكون عشوائية بالكامل، ولا يمكن فرض أيَّ إشارة عليها.


هنداوي